



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden korkeakoulu

Veikko Karvonen

Linja-autokaluston optimointi ja kohdentaminen

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 16.1.2012
Valvoja: Professori Tapio Luttinen
Ohjaaja: Panu Sainio

AALTO-YLIOPISTO TEKNIKAN KORKEAKOULUT PL 12100, 00076 Aalto http://www.aalto.fi		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Veikko Karvonen			
Työn nimi: Linja-autokaluston optimointi ja kohdentaminen			
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu			
Laitos: Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka			
Professuuri: Liikenne- ja tietekniikka		Koodi: Yhd-71	
Työn valvoja: Professori Tapio Luttinen			
Työn ohjaaja(t): Tekn. Lis. Panu Sainio			
<p> Linja-autoliikenteen kaluston valinnassa tehty ratkaisut määrittävät yksittäisten vuorojen kapasiteetin, energiankulutuksen, päästöt ja kustannukset. Joukkoliikennejärjestelmän kapasiteetti on mitoitettava ruuhkahuipun kysynnän mukaisesti. Nykyään ruuhkahuipun korkeaan kysyntään vastataan mitoittamalla käytetyn kaluston koko hiljaisen ajan vaatimuksia suuremmaksi, sekä lisäämällä vuorotarjontaa. Helsingin seudun liikenteen tilaamien linja-autovuorojen keskimääräinen kuormitusaste on vain 20 %. Ruuhka-ajan liikenteessä ajetaan paljon korkeasti kuormitettuja vuoroja. Vastaavasti ruuhka-aikojen ulkopuolella, erityisesti varhaisaamun ja illan aikana, ajetaan paljon vuoroja, joiden kuormitusaste jää matalaksi. Kaikista arkivuorokauden aikana ajettavista vuoroista alle 15 nousijaa lähtöä kohden on yhteensä 29 prosentilla lähdöistä. </p> <p> Kalustonvalinnan kautta saavutettavissa olevia vaihtoehtoja hiljaisen ajan liikenteen kustannus-, energia-, ja päästötehokkuuden parantamiseksi ovat kapasiteetiltaan muunneltavien perävaunullisten modulaaribussien käyttö ja pienkaluston käyttö hiljaisen ajan liikenteessä. Modulaaribusseja on saatavilla useisiin vetoautojen kokoluokkiin pikkubusseista täysikokoisiin linja-autoihin. </p> <p> Helpoin ja kustannustehokkain tapa käyttää pienkalustoa hiljaisena aikana olisi käyttää nykyisellään varhaisaamuisin, iltaisin ja viikonloppuisin käyttämättömänä olevia palvelu- ja kaupunginosalinjoille hankittuja pikkubusseja. Erillisen pienkaluston hankkiminen vain hiljaisen ajan liikennettä varten sen sijaan ei ole kannattavaa. </p> <p> Täysikokoista modulaaribussia voisi käyttää linjoilla, joilla kysynnän suuruuden takia joudutaan liikennöimään tarpeettoman tiheällä vuorovälillä. Täysikokoisen modulaaribussin korkea hankintahinta ja korkeat liikennöintikustannukset perävaunun kanssa ajettaessa pitävät modulaaribussin kokonaiskustannukset kuitenkin kaksoisnivelebussia korkeampina. Pienkalustoon perustuvilla modulaaribusseilla olisi kuitenkin joissain tapauksissa mahdollista korvata tavallinen kaksiakselinen linja-auto. Useilla linjoilla tavallisen kaksiakselisen linja-auton kapasiteettia tarvitaan ainoastaan ruuhka-aikoina ja muulloin liikennöintiin riittäisi pikkubussi. </p> <p> Työn loppuosassa on suoritettu tapaustutkimuksia, joissa on laskettu yksityiskohtaiset kustannusten, päästöjen ja energiankulutuksen vähenemät esimerkkilinjoilla </p>			
Päivämäärä: 16.1.2012		Kieli: Suomi	
		Sivumäärä: 106 + 4	
Avainsanat: Linja-autokaluston valinta, joukkoliikennesuunnittelu			

AALTO UNIVERSITY SCHOOLS OF TECHNOLOGY PO Box 12100, FI-00076 AALTO http://www.aalto.fi		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS	
Author: Veikko Karvonen			
Title: Optimization and Allocation of Bus Fleet			
School: School of Engineering			
Department: Transportation and Environmental Engineering			
Professorship:		Code: Yhd-71	
Supervisor: Professor Tapio Luttinen			
Instructor(s): Lic. Sc. Panu Sainio			
<p> Decisions made in bus type selection define the costs, capacity, energy consumption and emissions of a specific bus turn. Capacity of the public transport system has to be planned in order to meet the demand of peak hour. The peak hour capacity is today produced by using larger buses than needed outside the peak hour and by operating some extra turns during the peak hours. Average load factor for bus transit arranged by Helsinki Region Transport is only 20 %. During the peak hours a large share of bus turns has a passenger load near to the bus capacity and respectively outside the peak hours, especially during the early morning and evening, most of the bus turns has a low passenger load compared to the capacity of the bus. Totally 29 percent of all turns on weekdays have less than 15 passengers during the whole line. </p> <p> Cost-, energy- and emission efficiency of the off-peak traffic could be improved by selecting the vehicle type in a more specific way. Optional vehicle types for the normal city buses are minibuses and modular buses, which consist from a combination of a bus and a passenger trailer. Modular buses are available in several sizes from minibuses to full size city buses. </p> <p> Easiest and most cost efficient way to use minibuses would be to use the same minibuses that are currently used on service lines that are operated only around midday on weekdays. These minibuses are available for use on the early mornings, evenings and weekends. Purchasing of separate minibuses to use only on off-peak traffic seems not to be profitable. </p> <p> Full size modular buses could be used on high demand lines to replace two normal city buses. Even though modular bus would be cheaper to operate compared to two normal city buses it is not able to compete against double-articulated bus. Small minibus based modular buses are feasible solution for lines in which off-peak traffic could be operated with a minibus even though demand on peak hours requires capacity of a normal city bus. </p>			
Date: 16.1.2012		Language: Finnish	
		Number of pages: 106 + 4	
Keywords: Fleet optimization, public transit planning			

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty osana Transeco-tutkimusohjelmaan kuuluvaa HDENIQ-projektia.

Työn aihepiiriin tutustumisessa avustaneita on ollut paljon enemmän kuin voin tässä luetella. Haluan kiittää heitä kaikkia tapaamisista, haastatteluista ja lukuisista vastatuista sähköposteista.

Keskeisimpiä henkilöitä työn kannalta ovat olleet ohjaaja toiminut Panu Sainio Aalto-yliopiston ajoneuvo- ja kuljetusvälinetekniikan tutkimusryhmästä, Työn tilaajan, VTT:n puolelta Kimmo Erkkilä ja valvojana liikennetekniikan professori Tapio Luttinen. He kaikki ovat kiitoksensa ansainneet.

Työn valmistumiselle on ollut muitakin edellytyksiä. Saaraa haluan kiittää siitä, että pitkienkin päivien jälkeen on ollut mukava tulla kotiin.

Espoo 16.1.2012

Veikko Karvonen

Sisällysluettelo

1. Johdanto	6
1.1. Työn tavoitteet ja rajaukset.....	6
1.2. Tutkimusmenetelmät ja aineistot.....	7
2. Linja-autokalusto.....	8
2.1. 2- ja 3-akseliset linja-autot	8
2.2. Midi-kokoiset bussit	10
2.3. Palvelulinjakalusto	11
2.4. Nivel- ja kaksoisnivelbussit	12
2.5. Modulaaribussit	13
2.6. Linja-autojen voimalinja-ratkaisut	16
2.7. Linja-autojen päästöluokat	17
2.8. Joukkoliikenteen energiankulutus	18
2.8.1. Linja-autojen energiankulutus	20
2.9. Ajoneuvotekniikan kehitys	21
2.10. Lähiaikoina markkinoille tulossa oleva linja-autokalusto.....	22
2.10.1. Hybridibussit	22
2.10.2. Sähköbussit.....	23
2.11. Ajoneuvotekniikan kehityksen muutokset liikennöitsijöille.....	24
2.12. Ajoneuvotekniikan kehityksen muutokset liikennöintiin.....	25
3. Linja-autokaluston käytön suunnittelu osana joukkoliikennesuunnittelua	27
3.1. Liikenteen sääntely	31
3.2. Liikenteensääntely Suomessa.....	32
3.3. Joukkoliikenne pääkaupunkiseudulla.....	33
3.3.1. Liikenteen hankinta.....	34
3.3.2. Kaupunkiliikenteen liikennöinti	40
3.3.3. Joukkoliikenteen suunnittelu pääkaupunkiseudulla.....	43
3.4. Linjastosuunnittelu.....	44
3.4.1. Linjastosuunnittelu pääkaupunkiseudulla.....	46
3.5. Linjatyyppit	47

3.6.	Liikenteen kysyntä.....	48
3.6.1.	Liikenteen kysyntä pääkaupunkiseudulla.....	48
3.7.	Liikennöinnin suunnittelu	52
3.8.	Kaluston valinta.....	53
3.8.1.	Kaluston valinta pääkaupunkiseudulla.....	54
4.	Liikenteen kustannukset.....	56
4.1.	Linja-autoliikenteen yksikkökustannukset	60
4.2.	Liikenteen päästökustannukset	62
4.2.1.	Linja-autojen päästökustannukset.....	65
5.	Tutkimusmenetelmä	66
5.1.	Pienkaluston yksikkökustannukset	72
5.2.	Modulaaribussien yksikkökustannukset	73
6.	Tarkemman kaluston kohdentamisen mahdollisuudet	76
6.1.	Kaksiakselisten linja-autojen korvaaminen pienkalustolla	76
6.2.	Modulaaribussien käyttö.....	80
7.	Esimerkilaskelmia erityyppisistä kalustonkäyttötavoista.....	85
7.1.	Kaksiakselisen linja-auton korvaaminen pienkalustolla.....	85
7.2.	Kaksiakselisten linja-autojen korvaaminen modulaaribusseilla	92
8.	Johtopäätökset	96

1. Johdanto

Kaluston valinnassa tehdyt ratkaisut ovat linja-autoliikenteen kustannus-, energiankulutus- ja päästötason kannalta olennaisessa asemassa. Suurin murros kaupunkiliikenteessä käytetyssä linja-autokalustossa tapahtui 90-luvulla etuosasta matalalattiaisten linja-autojen käyttöönoton yhteydessä. Matalalattiaisuus asetti rajoitteita voimalinjan rakenteelle, minkä seurauksena kaksiakselista linja-autoa suurempaa kapasiteettia tarvittaessa siirryttiin käyttämään aiempien nivelbussien sijasta telibusseja, joiden kapasiteetti jäi vain hieman nivelbussia pienemmäksi. Matalalattiaisiin linja-autoihin siirtymisen jälkeen kaluston kehitys on keskittynyt ihmiselle haitallisten lähipäästöjen vähentämiseen. Tulevaisuudessa raskaan ajoneuvokaluston päästönormit tulevat kiristymään nykyisestään. Euroopan yhteisö on asettanut direktiivin, joka velvoittaa julkisia toimijoita huomioimaan ajoneuvojen hankinnassa niiden elinkaarenaikaisen energiankulutuksen (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/33/EY). Samaan aikaan ajoneuvotekniikan kehitys tuo kuitenkin uusia mahdollisuuksia energiankulutuksen ja päästöjen vähentämiseksi.

Linja-autojen päästöt ja energiankulutus ovat kapasiteettiinsa nähden matalia, mutta pääkaupunkiseudun linja-autojen keskimääräisen matkustajamäärän ollessa vain 12 matkustajaa, ovat linja-autoliikenteen ne suhteessa matkasuoritteeseen korkeat (Helsingin seudun liikenne 2011d). Joukkoliikennevälineiden kapasiteetti joudutaan mitoittamaan ruuhkahuippujen mukaan. Nykyisessä liikennöintikäytännössä kalusto pysyy samana koko liikennöintiajan, jolloin ruuhka-ajan ulkopuolinen kuormitustaso jää vaatimattomaksi.

1.1. Työn tavoitteet ja rajaukset

Tämän diplomityön tavoitteena on etsiä keinoja linja-autoliikenteen kustannusten, energiankulutuksen ja päästöjen vähentämiseksi valitsemalla kalusto tarkemmin kysyntää vastaavaksi. Työssä keskitytään pohtimaan mahdollisuuksia käyttää nykyisestä poikkeavaa linja-autokalustoa, sekä mahdollisuutta hankkia erillistä

kalustoa ainoastaan hiljaisen ajan liikennettä varten. Joitakin linja-automalleja on saatavilla sekä erillisestä ajojohtimesta ajoenergiansa saavina trolleybusseina, että dieselkäyttöisinä sarjahybrideinä. Tässä työssä käsiteltävien kalustotyyppien vaatimuksena on ollut mahdollisuus liikennöidä ilman erillistä infrastruktuuria.

Kustannusten laskennassa hyödynnetään linja-autoliikenteen toteutuneita yksikkökustannuksia. Kustannuslaskelmilla pyritään arvioimaan liikenteen tilaajalle kohdistuvia kustannusvaikutuksia. Infrastruktuurikustannukset jätetään työn ulkopuolelle.

1.2. Tutkimusmenetelmät ja aineistot

Työn tutkimusmenetelmiin kuuluvat kirjallisuusselvitys, asiantuntijahaastattelut ja tapaustutkimukset, joissa sovelletaan kirjallisuusselvityksessä ja asiantuntijahaastatteluissa kerättyjä tietoja.

Asiantuntijahaastatteluihin pyydytetyt henkilöt ovat alalla aktiivisia toimijoita, jotka . Haastatelluille on etukäteen kerrottu käsiteltävät teemat, mutta sen tarkempaa rakennetta haastatteluilla ei ole ollut.

Työ alkaa kirjallisuusselvityksellä, jossa selvitetään erilaisten kalustotyyppien ominaisuuksia, kalustonkäytön asemaa joukkoliikennesuunnittelussa, sekä linja-autoliikenteen kustannusten muodostumista. Toteutuneiden kustannusten perusteella arvioidaan vertailukelpoiset yksikkökustannusarvot työssä käsitellyille kalustotyypeille. Arvioitujen yksikkökustannusten perusteella selvitetään yleisiä reunaehtoja vieraiden kalustotyyppien käytön taloudellisille edellytyksille. Työn tuloksia konkretisoidaan tapaustutkimuksilla, joissa lasketaan kustannuksiin, energiankulutukseen ja päästöihin kohdistuvat muutokset erilaisilla kaluston kohdentamisperiaatteilla.

Olennaisina aineistoina työssä on käytetty Helsingin seudun liikenteen vuorokohtaisia nousijamäärätilastoja, tilastokeskuksen ylläpitämää linja-autoliikenteen kustannusindeksiä ja VTT:n linja-autojen päästötietokantaa.

2. Linja-autokalusto

Linja-autokalustoa on saatavilla eri valmistajilta eripituisina ja eripainoisina versioina tavanomaisista kaksiakselisista linja-autoista neliakselisiin kaksoisnivelbusseihin. Yleisimmät meillä käytetyt kalustotyyppit ovat pienkalusto, 2-akseliset bussit ja 3-akseliset telibussit. Näiden lisäksi saatavilla on kooltaan 2-akselisen linja-auton ja pienkaluston väliin sijoittuvia midibusseja, modulaaribusseiksi kutsuttuja linja-auton ja perävaunun yhdistelmiä, sekä nivel- ja kaksoisnivelbusseja.

Linja-autojen koon lisäksi kalustoa on saatavilla erityyppisillä voimalinjaratkaisuilla. Dieselkäyttöisten linja-autojen lisäksi käytössä on maakaasua polttoaineenaan käyttäviä linja-autoja. Tulevaisuudessa ajoneuvotekniikan kehittyminen tuo uusia vaihtoehtoja linja-autojen voimalinjan valintaan.

2.1. 2- ja 3-akseliset linja-autot

Tavallisin tällä hetkellä käytössä oleva kalustotyyppi on joko 2- tai 3-akselinen matalalattiainen linja-auto. HSL:n järjestämässä liikenteessä käytetään kolmea perustyyppiä, jotka ovat A-tyyppi 12m, A-tyyppi 13m, sekä 3-akselinen telibussi. (Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2009).

Eri kalustotyypeille on asetettu erilaisia vaatimuksia istuma- ja seisomapaikkojen määristä (Taulukko 1). Nämä linja-autotyyppit eivät teknisesti eroa toisistaan merkittävästi. Molemmissa A-tyypin busseissa on tyyppillisesti hyvin samankaltainen alustatekniikka. Telibussien kohdalla kasvaneen pituuden, lisä-akselin ja suuremman kantavuuden myötä paino on huomattavasti korkeampi, jonka seurauksena niissä käytetään tehokkaampia moottoreita.

Taulukko 1: HSL:n käyttämät kalustotyypit

Kalustotyyppi	Istumapaikat	Seisomapaikat	Paikat yhteensä
A-tyyppi 12m	34	15	49
A-tyyppi 13m	42	18	60
Telibussi	51	20	71

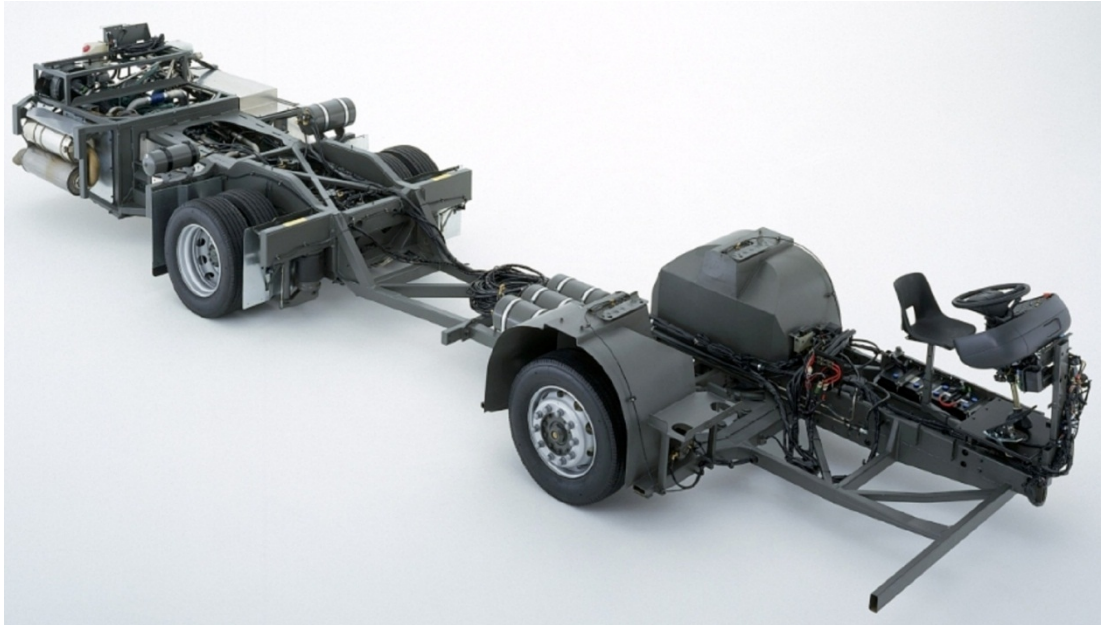
Linja-autot rakennetaan yleensä kahdessa vaiheessa. Ensimmäisenä kootaan tilaajan valitsemista alustakomponenteista alustan kuljetusrunko (Kuva 2), jossa etu- ja taka-akseliston komponentit, sekä voimalinja on kiinnitetty toisiinsa tilapäisesti. Koritehtaalla kuljetusrunko katkaistaan ja linja-auton kori rakennetaan tilaajan vaatimusten perusteella. Linja-auton sisätilat on mahdollista järjestellä korimallista riippuen usealla eri tavalla. Useimpiin alusta- ja korimallin yhdistelmiin on saatavilla useita eri vaihtoehtoja ovien, istuimien ja seisomatilan sijoitteluun tilaajan vaatimusten mukaisesti.

Samoista komponenteista voidaan rakentaa useita erilaisia alustaratkaisuja. Kaksi-akselisen linja-auton voi alustasta riippuen rakentaa 10,7–13,5 metrin pituiseksi ja kolmiakselisena 15 metrin pituuteen saakka. Alustan mitoista etu- ja takaylitys määräytyy alustan ominaisuuksien perusteella ja ajoneuvon lopulliseen pituuteen vaikutetaan akselivälin valinnalla (Volvo 2011b).

HSL:n käyttämien 12- ja 13-metriä pitkien linja-autojen rakenne eroaa toisistaan lähinnä akselivälin osalta, eikä näiden hankinta- ja käyttökustannuksissa ole merkittäviä eroja. Suurin lyhyemmän autotyypin hyöty on sen parempi kääntyvyys ja käsiteltävyys.



Kuva 1: Volvo B12BLEA nivelbussin alusta (Volvo 2011)



Kuva 2: Kaksiakselinen Volvo B12BLE alusta (Volvo 2011)

HSL:n käyttämät kalustotyypit poikkeavat yleisesti Euroopassa käytetyistä kaupunkibusseista. Suurimmat erot HSL:n liikenteessä käytetyissä linja-autoissa ovat suuremman istumapaikkamäärän vuoksi vähennetyt seisomapaikat ja erilaiset ovijärjestelyt. Käytetyn kaluston erojen vuoksi pääkaupunkiseudun vaatimukset täyttäviä linja-autoja on markkinoilla vähemmän saatavilla ja niiden jälleenmyyntiarvo on alhaisempi (Nykänen 2011).

2.2. Midi-kokoiset bussit

Midi-bussilla tarkoitetaan linja-autoa, joka sijoittuu kokonsa puolesta tavallisen 12-13 metriä pitkän linja-auton ja palvelulinjoilla käytetyn pienkaluston väliin. Midi-bussit ovat tyypillisesti normaalin linja-auton levyisiä, mutta huomattavasti lyhyempiä. Useimmat midi-luokan bussit on rakennettu eri alustalle kuin tavalliset bussit tai pikkubussit. Suomessa midi-busseja on käytetty varsin vähäisesti. Midibussit eivät ole hankintahinnaltaan ja liikennöintikustannuksiltaan merkittävästi tavallisia linja-autoja halvempia. Midi-luokan linja-autonkuljettaja tarvitsee aina

matkustajamäärän vuoksi täysikokoisen linja-auton kuljettamiseen vaadittavan D-luokan ajokortin.

2.3. Palvelulinjakalusto

HSL:n tilaamassa liikenteessä on viime vuosina lisääntynyt runsaasti pienten, raskaiden pakettiautojen tai kevyiden kuorma-autojen alustoille rakennettujen pikkubussien käyttö palvelulinjaliikenteessä. Palvelulinjakaluston erityisiä etuja ovat pienen koon mukanaan tuoma mahdollisuus liikennöidä ahtaammillakin kaduilla ja tarjota näin yksilöllisempää, lähemmäs kotiovea ulottuvaa palvelua. Palvelulinjojen hitauden ja pienen istumapaikkamäärän takia linjat eivät voi olla kovin pitkiä. Tämä ei myöskään palvelisi tarkoitusta, kun palvelulinjojen tavoite on kuljettaa heikosti liikkuvia ihmisiä paikalliskeskuksiin.

HSL jakaa kilpailutuskohteissa pienkaluston luokkiin mini-a ja mini-b. Mini-a-tyyppin linja-autossa on vähintään 13 istumapaikkaa ja mini-b-tyypissä taas 16. Linja-auton, joka on rekisteröity korkeintaan 16 henkilölle, kuljettamiseen riittää D1-luokan ajokortti. Tämä tarjoaa pienen edun linja-autoliikenteen kärsiessä kuljettajapulasta. Palkkustannusten osalta pienkaluston käyttö ei tuota säästöjä kun kuljettajille on kuitenkin maksettava samansuuruista palkkaa. D1-ajokortin hankkiminen on huomattavasti edullisempaa ja helpompaa kuin tavallisen D-luokan ajokortin. Pienkaluston suurin heikkous on niiden matkustajamäärän joustamattomuus. Pienkalustossa ei ole rekisteröityjä seisomapaikkoja, jolloin istumapaikkojen täyttyessä bussi on täysi, eikä siihen saa ottaa lisää matkustajia kyytiin (Liikenteen turvallisuusvirasto 2011).

Palvelulinjakaluston käyttö keskittyy tiiviisti aamupäivään ja alkuiltapäivään. Useimmilla linjoilla ensimmäiset lähdöt sijoittuvat aamulle klo. 8.00-9.00 väliseen aikaan ja viimeiset lähdöt taas klo. 14.00-15.00 väliseen aikaan. Autojen käytön kannalta on oleellista huomata, että viimeisen vuoron lähdön jälkeen auto on

sidottu linjaansa vielä kierrosajan verran. Palvelulinjoilla on viikonloppuisin huomattavasti arkipäiviä vähemmän lähtöjä, jolloin pienkalusto seisoo varikolla käyttämättömänä.

Pienkaluston soveltuvuudesta linjaliikenteeseen on olemassa ristiriitaisia tietoja. Pienkaluston luotettavuus ja kestävyys on ollut palveluliikenteessä tavoiteltua heikompaa. Osa ongelmista on kuitenkin liittynyt myös siihen, että pienkaluston määrä on ollut pieni ja käytössä on ollut useampia eri malleja, jolloin ajoneuvojen kunnossapidosta ei ole vielä kertynyt riittävästi kokemusta. Palvelulinjoilla käytettäviä linja-auton alustoja on rakennettu myös tilausajokäyttöön, jossa ne ovat osoittautuneet erittäin kestäviksi (Mäenpää 2011).

2.4. Nivel- ja kaksoisnivelbussit

Nivelautot poistuivat säännöllisestä liikenteestä Helsingin seudulla vuonna 2007. Tuolloin viimeisinä käytöstä poistuneet autot olivat korkealattiaisia, 90-luvulla valmistettuja kaupunkiautoja. Matalalattiaisten bussien tultua markkinoille, haluttiin pääkaupunkiseudulla panostaa joukkoliikenteen esteettömyyteen ja nopeuttaa pysäkkiaikoja helpomman kyytiin nousemisen avulla. Nivelauton rakentaminen matalalattiaiseksi ei ollut yhtä helppoa kuin tavallisilla kaksiakselisilla busseilla. Yleisimmissä matalalattiaisissa autoissa moottori on sijoitettu auton takaosaan lattian alle siten, että takaosan lattia nousee keskisillan jälkeen. Pääkaupunkiseudun liikenteeseen hankittiin muutama kappale matalalattiaisia nivelautoja, joissa moottori oli sijoitettu saman periaatteen mukaisesti nivelletyn osan perälle, jolloin vetävänä akselina toimi nivelletyn osan akseli. Rakenteen ongelmina olivat sen heikot ajo-ominaisuudet, etenkin talvella. Nivellettyyn osaan sijoitettu voimalinja muutti auton painopistettä ohjauksen kannalta huonommaksi. Samalla nivelletyn osan akselista ei voitu voiman siirron vuoksi rakentaa kääntyvää, kuten oli korkealattiasissa nivelautoissa, ja sen myötä auton kääntyvyys heikkeni. Nivelautojen korvaajiksi korkeampaa kapasiteettia tarvittaessa otettiin helpommin

matalalattiaisiksi rakennettavat telibussit, joiden kääntymisominaisuudet olivat heikommat, mutta istumapaikkoja saatiin lähes yhtä paljon kuin nivelautoilla.

Säännöllisen liikenteen loppumisen jälkeen pääkaupunkiseudun liikenteessä on kokeiltu joitakin nivel- ja kaksoisnivelautoja. Näiden etuna, etenkin kaksoisnivelautoilla, on suuri matkustajakapasiteetti. Koekäytössä olleissa autoissa on ollut erityyppisiä ratkaisuja moottorin sijoitukseen ja voimansiirtoon liittyen. Nivelauton moottori on mahdollista sijoittaa myös etummaisimman vaunun toiselle laidalle, jolloin menetetään joitakin istumapaikkoja, mutta auton painopiste ja veto-ominaisuudet paranevat merkittävästi. Toinen kokeiltu konstruktio on Sveitsiläisen Hess AG:n valmistama kaksoisnivelauto, jossa sähköisen voimansiirron avulla moottori on voitu sijoittaa takimmaisena vaunun perälle ja siitä huolimatta käyttää vetävinä akseleina kahta keskimmäistä akselia. Samaa ajoneuvoa myydään myös ilman dieselmoottoria ajojohtimilla varustettuna trolleybussina.

Nivelautojen käyttöönoton yksi haaste on, ettei niiden liikennöinnin kustannuksista ole kovin tarkkaa tietoa. Vanhojen nivelbussien liikennöintikustannusten vertaaminen nykyaikaisiin autoihin ei anna hyvää käsitystä tekniikan ollessa hyvin erilaista.

2.5. Modulaaribussit

Modulaaribussit ovat suomalaisesta linja-autokalustosta puuttuva kalustotyyppi. Modulaaribussilla tarkoitetaan tavallisen linja-auton ja matkustajien kuljetukseen käytetyn perävaunun yhdistelmää. Modulaaribusseilla tavoitellaan suurempaa ajoneuvokohtaista kapasiteettia ja kapasiteetin muunneltavuutta. Modulaaribussien perävaunujen yhdistäminen ja irrottaminen eivät häiritse liikennöintiä (Ojamo 2011, Göppel 2011).

Modulaaribussin vetoautona voidaan käyttää tavallista linja-autoa. Vetoauton ja perävaunun kytkeminen vaatii vetoautolta perävaunun vetoaisaan sopivaa

vetokytkintä, jarrujen ohjauksen kattavaa paineilmaliitintä, sekä vetoauton ja perävaunun sähköjärjestelmät yhdistävän liittimen. Vetoautossa tulee olla myös perävaunun matkustajien ja kuljettajan väliseen viestintään käytetyt laitteet, sekä can-väylä tiedon siirtämiseksi perävaunuun. Vetoauton ja perävaunun kytkentä on tehty välyksettömäksi, jolloin perävaunu ei aiheuta kiihdytyksissä ja jarrutuksissa ylimääräistä nykivää liikettä (Göppel 2011).

Nykyaikaisissa modulaaribusseissa on käytössä ESP (Electronic Stability Program)-ajonvakautusjärjestelmä. Ajoneuvoyhdistelmien ESP-järjestelmät käsittelevät koko yhdistelmää yhtenä kokonaisuutena, jolloin vetoauton ja perävaunun järjestelmien pitää olla yhteensopivia (Göppel 2011).

Modulaaribussin kääntyvyys kaupungissa on huomattavasti parempi kuin 3-akselisella telibussilla ja jonkin verran parempi kuin nivelbussilla. Modulaaribusseissa käytetään ohjausjärjestelmää, jossa perävaunun etummaisen akselin pyörät eivät käänny suoraan vetoaisan mukana, vaan ne pyrkivät seuraamaan vetoauton etuakselin ajolinjaa, jolloin myös vaunun takaosan ajolinja seuraa vetoauton takaosan ajolinjaa (Göppel 2011).

Matkustajien kuljetukseen käytettäviä perävaunuja on saatavilla useankokoisiin linja-autoihin. Pienimmät mallit on tarkoitettu palvelulinjakaluston tyyppisille vetoautoille. Modulaaribusseissa perävaunu on tyypillisesti samankokoinen vetoauton kanssa. Yleisin koko luokka on 10-12 metriä pitkät bussit ja niiden perävaunut. Modulaaribussivalmistaja Göppelin 12-metrin pituiseen perävaunuun saa istuinjärjestelyistä riippuen 30-42 istumapaikka, jolloin seisomapaikkoja jää 39-72 (Göppel 2011).



Kuva 3 : Modulaaribussi (Hess 2011)

Täysikokoisia modulaaribusseja on käytössä ainakin Sveitsissä, Luxemburgissa, Itävallassa ja lähimpänä Tallinnassa.

Tavallisten 10–12 metriä pitkien bussien lisäksi modulaaribussin voi tehdä myös pikkubussista. Pikkubussiin liitettävä perävaunu on teknisiltä ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin täysikokoisetkin perävaunut, mutta pienempi ja kevyempi. Lisäämällä perävaunu pikkubussiin saavutetaan vastaavanlainen suhteellinen kapasiteetin lisäys kuin lisäämällä perävaunu täysikokoiseen bussiin.



Kuva 4 : Pieni modulaaribussi (Stadtbus 2011).

2.6. Linja-autojen voimalinja-ratkaisut

Tällä hetkellä lähes kaikissa kaupunkiliikenteen linja-autoissa käytetään diesel- tai maakaasukäyttöisen moottorin ja momentinmuuntimellisen automaattivaihteiston yhdistelmää. Joihinkin uusimpiin malleihin momentinmuuntimella varustettu automaattivaihteisto on korvattu automatisoidun kytkimen ja vaihteiston yhdistelmällä. Ensimmäiset vaihtoehtoiset voimalinja-ratkaisut ovat tulleet markkinoille 2000-luvun alussa, tai ovat vielä vasta kehitteillä.

Diesel- tai maakaasumoottorin käyttö vaikuttaa voimakkaasti koko linja-auton rakenteen suunnitteluun. Moottorin ja voimansiirron suuresta koosta, sekä voimavälittämiseksi vetäville pyörille tarvittavista komponenteista johtuen korirakenteeseen täytyy jättää runsaasti tilaa alustan tekniikalle. Mekaanista voimansiirtoa käytettäessä vetovoiman jakaminen useammalle kuin yhdelle akselille vaatii monimutkaisia rakenteita, eikä sen takia sovellu kaupunkibusseihin.

2.7. Linja-autojen päästöluokat

Raskaan ajoneuvokaluston päästöjä säännellään Euroopan yhteisön direktiivien asettamien EURO-päästönormien avulla. Normeissa asetetaan maksimiarvot uusien ajoneuvojen eri päästötyyppien arvoille suhteessa moottorin tuottamaan energiamäärään. Ensimmäinen, EURO I – päästötaso, astui voimaan 1992, jonka jälkeen vaatimukset ovat kiristyneet. Tällä hetkellä voimassa on EURO V-päästönormi ja seuraava EURO VI-normi tulee voimaan vuonna 2013 (Dieselnet 2011).

Taulukko 2: Raskaiden ajoneuvojen päästöluokat (Dieselnet 2011)

	Voimaantulovuosi	CO g/kWh	HC g/kWh	NOx g/kWh	PM g/kWh
Euro I	1992	4,5	1,1	8,0	0,36
Euro II	1996/1998	4,5	1,1	7,0	0,25/0,15
Euro III	2000	2,1	0,66	5,0	0,10
EEV (vapaaehtoinen)	2000	1,5	0,25	2,0	0,02
Euro IV	2005	1,5	0,46	3,5	0,02
Euro V	2008	1,5	0,46	2,0	0,02
Euro VI	2013	1,5	0,13	0,4	0,01

Pääkaupunkiseudun liikenteessä on haluttu käyttää direktiivien vaatimuksia vähäpäästöisempiä ajoneuvoja antamalla liikennöintisopimusten kilpailutuksissa lisäpisteitä päästöiltään minimitasoa puhtaammille ajoneuvoille. Tämän takia linja-auton päästötaso on ollut koko liikenteen kilpailutuksen ajan tärkeä tekijä kalustohankinnoissa.

Monissa Euroopan maissa liikenteen päästöjä on pyritty vähentämään huomattavasti aktiivisemmin kuin Suomessa. Ruotsissa Tukholman, Göteborgin ja Malmön keskustoihin perustettiin ympäristövyöhyke jo vuonna 1996. Myöhemmin

ympäristövyöhykkeitä on perustettu muihinkin Ruotsin kaupunkeihin. Pääperiaatteena alueiden nykyisissä säännöissä on, että käytettävä kaluston ikäraja on asetettu kuuteen vuoteen. Vähimmäismääräyksiä puhtaampien päästöluokkien ajoneuvojen hankkimisesta on palkittu pidemmällä käyttöajalla. Euro 5-päästötason autoille on parhaimmillaan saanut 15 vuoden käyttöajan. Tanskassa ensimmäiset ympäristövyöhykkeet perustettiin Kööpenhaminaan 2000-luvun vaihteessa. Ympäristövyöhykkeiden määrä on kasvanut vuoden 2007 alusta voimaan tullen lakimuutoksen jälkeen ja samalla päästökriteereitä on kiristetty. Nykyisellään säädöksissä edellytetään kaikkiin Euro 4-päästöluokkaa vanhempiin autoihin jälkiasennettua hiukkassuodatinta. Kaupunkikohtaisia ympäristövyöhykkeitä on Ruotsin ja Tanskan lisäksi myös Saksassa yhteensä 51, Englannissa 3, Norjassa 3, Alankomaissa 15, Italiassa 105, Unkarissa 1, Tšekissä 1 ja Itävallassa 1 (Nylund, Mäkelä 2007, Low Emission Zone in Europe Network 2011).

2.8. Joukkoliikenteen energiankulutus

Joukkoliikenteen energiatehokkuuden mittaamiseen käytetään useita erilaisia menetelmiä. Menetelmät eroavat toisistaan siinä, miten joukkoliikennejärjestelmien eri osien, kuten pysäkkien ja varikoiden energiankulutus jaetaan ajoneuvokohtaiseen energiankulutukseen, sekä siinä lasketaanko ajoneuvon energian kulutukseen ainoastaan ajoneuvon kuluttama polttoaine tai sähkö, vai myös sen tuottamiseen ja siirtoon kulunut energia. Sähköntuotantoon ja siirtoon tarvittun primäärienergian määrän laskeminen on oleellista erityisesti arvioitaessa sähkökäyttöisten ajoneuvojen energiatehokkuutta ja ilmastovaikutuksia. Infrastruktuurin ja varikoiden energian kulutus taas nousee suurempaan rooliin raskaalla raideliikenteellä. Linja-autopysäkkien ja -varikkojen energian kulutus suhteessa liikenteen energian kulutukseen on vähäistä. Energian tuotantotavan merkitys joukkoliikenteen ilmastokuormituksen laskennassa on merkittävä. Sähköä

käyttövoimanaan käyttävien liikennevälineiden päästöarvot ovat suoraan riippuvaisia energiantuotantomuodosta.

Lähiliikenteen junien hiilidioksidipäästötasoksi lasketaan 0g/km, joka perustuu siihen, että VR ostaa junien liikennöintiin vesivoimalla tuotettua sähköä. Metron ja raitiovaunujen päästöarvot taas perustuvat Helsingin energian keskimääräiseen päästötasoon (Helsingin seudun liikenne 2011d).

Linja-autoliikenteessä on vähitellen tehty kokeiluja biopolttoaineiden käytöstä. HSL:n tilaamassa liikenteessä tehtiin kokeilu Neste Oilin NExBTL-biodieselin käytöstä polttoaineena. NExBTL-biodieselin valmistuksessa käytetään uusiutuvia raaka-aineita. Biodieselin käyttö ei sinänsä vähennä ajoneuvosta syntyviä hiilidioksidipäästöjä, mutta raaka-aineen uusiutuvuuden vuoksi voidaan katsoa, että biodieselin käytöllä ei ole vaikutettu hiilidioksidin kokonaismäärään ilmakehässä. Joissain kasvihuonekaasujen laskentamenetelmissä uusiutuvien polttoaineiden käytön katsotaan vähentävän liikenteen ilmastokuormitusta biopolttoaineen tuotannon kuormitusta vastaavaksi. Biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arvioinnista esiintyy kuitenkin vielä erimielisyyksiä. Linja-auton energiatehokkuuden kannalta biodiesel ei eroa tavallisesta dieselistä (Helsingin seudun liikenne 2011c).

Joukkoliikenteen energiankulutusta arvioitaessa oleellista on myös se, mihin energiankulutus suhteutetaan. Tyypillisiä yksiköitä ovat ajoneuvokilometri, paikkakilometri ja henkilökilometri. Eri ajoneuvotyyppien vertaaminen toisiinsa pelkästään ajoneuvon energiankulutuksen perusteella jättää huomioimatta ajoneuvon kapasiteetin. Paikkakilometreihin perustuva arviointi antaa käsityksen siitä, mitä kyseisen liikennevälineen energiatehokkuus voisi parhaimmillaan olla. Joukkoliikenteen tarjontaa ei voida kuitenkaan mitoittaa kapasiteetin rajoille, jolloin myös energiatehokkuus kärsii. Sopivan laskennallisen täyttöasteen löytäminen on hankalaa. Bussien keskimääräinen matkustajamäärä pääkaupunkiseudulla on 12 matkustajaa/bussi ja tätä lukemaa käytetään myös laskettaessa joukkoliikennematkan päästöarvoja HSL:n reittioppaassa. Linja-autojen energiatehokkuutta käsittelevissä selvityksissä on käytetty myös 20%:n

keskimääräistä täyttöastetta. Keskimääräisen matkustajakuormituksen käyttö energiatehokkuuden arvioinnissa on siitä hankalaa, että keskiarvoon sisältyy runsaasti lähes tyhjillä busseilla ajettuja vuoroja, sekä täyteen ahdettuja ruuhkavuoroja. Tällä laskentamenetelmällä linja-autolla tehdyn joukkoliikennematkan hiilidioksidipäästöarvoksi muodostuu noin puolet henkilöautolla tehdyn matkan päästöistä. Näin pienillä täyttöasteilla linja-autoliikenteen energiatehokkuuden parantaminen on hankalaa tekemällä muutoksia ainoastaan ajoneuvoihin.

Rautatieliikenteessä VR:n ympäristölupauksiin sisältyy lupaus vähentää junaliikenteen matkustajakohtaista energiankulutusta 20 % ja tämä on tarkoitus saavuttaa ennen kaikkea nostamalla junien täyttöastetta (Valtion rautatiet 2011).

2.8.1. Linja-autojen energiankulutus

Linja-autojen energian kulutus ei muutu suoraan suhteessa ajoneuvon pituuteen, massaankin tai kantavuuteen. VTT:n ylläpitämä tieliikenteen päästöjen tilastointiin ja arviointiin tarkoitettu Lipasto-tietokanta erittelee linja-autojen energian kulutusta Euro-päästönormien luokituksen mukaisesti. Euro-normit koskevat ainoastaan liikenteen lähipäästöjä, eikä niissä ole asetettu rajaa ajoneuvojen hiilidioksidipäästöille. Tässä tilastossa energiankulutus arvioidaan samaksi kaikille Euro-I tasosta alkaen oleville busseille ja sitä vanhemmille hieman korkeammaksi. Ajoneuvon päästötaso ei kuitenkaan ole hyvä selittäjä ajoneuvojen energiankulutukselle. Päästöluokitusten kiristyessä linja-autovalmistajien on täytynyt etsiä uusia keinoja pakokaasupäästöjen vähentämiseksi. Pakokaasujen puhdistus suoritetaan tällä hetkellä kahdella eri menetelmällä. EGR-järjestelmä (Exhaust Gas Recirculation) kierrättää osan pakokaasusta jäähdytyksen kautta takaisin moottoriin. Uudelleenkierrätetyssä pakokaasussa on puhdasta ilmaa alhaisempi happipitoisuus, jolloin palotapahtuman voimakkuus heikkenee ja palamislämpötila alenee. Menetelmä vähentää korkeissa lämpötiloissa syntyviä

typenoksideja, mutta samalla heikentää moottorin hyötysuhdetta. VTT:n mittauksissa jälkiasennettu EGR-järjestelmä ja hiukkassuodatin nostivat polttoaineenkulutusta korkeimmillaan 8 %. SCR-järjestelmässä (Selective Catalytic Reduction) pakokaasuihin sekoitetaan urealiuosta, joka pelkistetään ureakatalysaattorissa typpikaasuksi ja vedeksi. SCR-järjestelmä vähentää tehokkaasti typenoksidien määrää pakokaasussa, jolloin moottorin hyötysuhde voidaan pitää korkealla (Sektoritutkimuksen neuvottelukunta 2011).

Suurin osa, noin 65 %, polttoaineen sisältämästä energiasta muuttuu moottorissa lämmöksi, eikä sitä voida hyödyntää ajoneuvon liikuttamiseen. Moottorin apulaitteet vievät polttoaineen energiasisällöstä noin 5 % ja voimansiirron häviöihin kuluu vielä noin 5 %. Jäljelle jäävä 25 % jakautuu liikennetyypistä, ajonopeuksista ja ajoneuvosta riippuen ilmanvastuksen ja vierintävastuksen välille. Ajoneuvon kiihdyttämiseen tarvittava energian on tässä jaottelussa sisällytetty vierintävastukseen. Ajonopeuden noustessa ilmanvastuksen osuus kasvaa eksponentiaalisesti ja vierintävastuksen osuus vastaavasti laskee. Kaupunkiliikenteessä tiheä pysähtyminen pysäkeille nostaa energian tarvetta ja sitä kautta vierintävastuksen osuus energiankulutuksesta kasvaa (Sektoritutkimuksen neuvottelukunta 2011).

2.9. Ajoneuvotekniikan kehitys

Joukkoliikenteen ja ajoneuvotekniikan kehittämisellä on kaksisuuntainen yhteys. Joukkoliikennejärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon tekniset mahdollisuudet, mutta toisaalta teollisuus kehittää tuotteitaan vastaamaan liikenteen vaatimuksia. Linja-autoja hankittaessa liikennöitsijät ostavat useimmiten valmiita teollisia tuotteita. Raidekalustoa hankittaessa valmistajille annetaan tarjouspyyntöjen yhteydessä vaatimukset, joiden perusteella valmistajat räätälöivät omia tuotteitaan tilaajalle sopivaksi.

2.10. Lähiaikoina markkinoille tulossa oleva linja-autokalusto

2.10.1. Hybridibussit

Hybridiajoneuvoilla tarkoitetaan ajoneuvoja, jotka saavat liikkumiseen tarvittavan energiansa useammasta kuin yhdestä voimanlähteestä. Käytännössä nämä ovat poltto- ja sähkömoottorin yhdistelmiä. Sähkömoottorin lisääminen voimalinjalle on mahdollistanut sen käytön myös jarruttamiseen, jolloin jarrutusenergia voidaan kerätä akkuun tai superkondensaattoriin ja käyttää uudelleen.

Hybridiajoneuvot jaetaan yleisesti kahteen luokkaan, rinnakkais- ja sarjahybrideihin, rakenteensa mukaan. Rinnakkaishybridissä sähkömoottori on sijoitettu voimansiirrossa rinnakkain polttomoottorin kanssa, jolloin ajoneuvoa voi liikuttaa kumpi tahansa moottori yksinänsä tai molemmat samaan aikaan. Sarjahybridissä taas polttomoottorilla pyöritetään generaattoria, jonka tuottamalla sähköllä käytetään sähkömoottoreita. Sarjahybridissä ei siis ole mekaanista yhteyttä polttomoottorin ja pyörien välillä. Rinnakkaishybridissä sähkömoottoreilla tuotetaan vain osa ajoneuvon tarvitsemasta tehosta, useimmiten liikkeellelähdyksissä ja kiihdytyksissä, kun taas sarjahybridissä sähkömoottori tuottaa kaiken ajoneuvon tarvitseman liike-energian. Hybridijärjestelmällä saavutettava polttoaineen säästö riippuu auton käyttöympäristöstä. Parhaimmillaan tämän päivän tekniikalla säästö voi olla suuruudeltaan 20–35 % vastaavaa dieselkäyttöistä linja-autoa vähemmän. Hybridiajoneuvojen hiukkas- ja typenoksidipäästöt ovat 40–50 % tavallista linja-autoa vähäisemmät (Helsingin seudun liikenne 2011).

Hybridiautosta kehitettyä plug-in-hybridiiä pidetään seuraavan kehitysaskeleena kohti sähköistä liikennettä. Plug-in-hybridillä tarkoitetaan ajoneuvoa, jonka akku on mitoitettu tavallista hybridiiä suuremmaksi ja jossa akkua ladataan ulkoisesta lähteestä silloin kuin sellainen on saatavilla. Tämä mahdollistaa polttoaineen kulutuksen pienentämisen entisestään kun auton akkuihin ladattua sähköä voidaan käyttää sen primäärienergiana. Henkilöautoissa tekniikka on jo tulossa vähitellen käyttöön, kun taas linja-autoissa ei kaupallisia sovelluksia ole vielä saatavilla. Linja-

autoissa kehitystä hidastaa päivittäisten ajosuoritteiden suuruus ja suuri energiantarve.

Hybridibussien tekniikka on niin tuoretta, että sen elinkaaren pituutta ja elinkaaren aikana aiheutuvia kustannuksia on vaikea arvioida. Volvon hybridibusseissa käytettävien akkujen elinikä on tällä hetkellä noin 50–60 tuhatta kilometriä, joka on vähemmän kuin uuden kaupunkiliikenteessä käytettävän linja-auton vuotuinen ajosuorite. Volvon valmistamissa busseissa akkujen kunnossapito järjestetään siten, että valmistaja vuokraa akun kilometriperusteisella hinnoittelulla ja akku vaihdetaan uuteen sen tultua elinkaarensa päähän. Akku on tulevaisuudessa mahdollista vaihtaa kapasiteetiltaan suurempaan ja samalla varustaa latausjärjestelmällä, jolloin bussia voidaan käyttää plug-in-hybridinä (Rönneberg 2011).

2.10.2. Sähköbussit

Sähköbussilla tarkoitetaan linja-autoa, jonka käyttövoimana on sähkö ja joka ei tarvitse toimiakseen sähköjohdinta tai sähköön tuottavaa moottoria. Energiavarastoina sähköbusseissa voidaan käyttää akkuja tai superkondensaattoreita. Sähköbussien energianvaraukseen on useita eri vaihtoehtoja. Energiavaraston voi ladata pysäkeillä, tavallisten pysähdysten aikana, jolloin latausmahdollisuudella varustettuja pysäkkejä tulee olla tarpeeksi tiheässä. Energiavarastoa voidaan myös ladata päätepysäkeillä aina vuorojen välillä, joskin tässä järjestelyssä päätepysäkeille pitää varata riittävästi aikaa. Sähköbussi on rakennettavissa myös siten, että akut voi vaihtaa täysiin edellisten tyhjennettyä, jolloin ajoneuvon ei tarvitse seistä latauksen aikana. Perinteisten bussien kanssa taloudellisesti kilpailukykyiset sovellukset ovat vielä kuitenkin saavuttamattomissa. Itsenäisesti toimivien sähköbussien on arveltu saavuttavan julkiseen liikenteeseen riittävän tason vuoden 2030 jälkeen (Helsingin seudun liikenne 2011).

2.11. Ajoneuvotekniikan kehityksen muutokset liikennöitsijöille

Uuden ajoneuvotekniikan käyttöönottoon liittyy riskejä, jotka eivät ole suoraan liikennöitsijöiden hallinnassa. Uusien teknologioiden tullessa markkinoille, ne ovat usein vielä epäkypsiä ja niiden ylläpito ja liikennöintikustannusten arviointi voi olla vaikeaa. Toinen oleellinen riski uuden ajoneuvotekniikan hankkimiseen liittyy kaluston käyttömahdollisuuksiin ensimmäisen kilpailutuskauden jälkeen. Liikennöitsijälle on riskialtista hankkia uutta kalustoa, jos on olemassa mahdollisuus, että ensimmäisen sopimuskauden jälkeen auto ei enää täytäkään tilaajan vaatimuksia (Nykänen 2011).

Ajoneuvotekniikan kehitys asettaa paineita myös varikkotoiminnan kehittämiselle. Helsingissä otettiin 1990-luvulla käyttöön maakaasubusseja linja-autoliikenteen lähipäästöjen vähentämiseksi. Maakaasuautoja varten jouduttiin muuttamaan huoltotilojen rakenteita paloturvallisuuden takaamiseksi ja rakentamaan Ruskeasuon varikolle maakaasun tankkauspiste. Vastaavanlainen tarve muuttaa varikoita seuraisi monien uusien ajoneuvotekniikoiden käyttöönotosta. Dieselhybridibussi on käsiteltävissä nykyisillä varikoilla. Ladattava sähköbussi taas vaatii latauspaikan. 100 kW-tehoisen latauspaikan rakentaminen nykyiselle varikkopaikalle maksaa noin 50 000€ (Ojamo 2011, Helsingin seudun liikenne 2011).

Toinen linja-autojen kehityssuunta, kasvava pituus, on myös varikoiden kannalta hankalaa. Varikot on rakennettu 2–3-akselisia tavanomaisia linja-autoja varten, eikä niillä ole valmiuksia käsitellä pitkiä kaksoisnivelbusseja. Kaksoisnivelbussit tarvitsevat pysäköintiä varten hyvin erilaiset tilat kuin nykyiset bussit. Kaksoisnivelbusseja ei voi peruuttaa pois pysäköintiruudusta, jolloin pysäköintialue on rakennettava läpiajettavaksi. Pysäköinnin lisäksi huoltotoiminnot varikoilla eivät pysty käsittelemään kaksoisnivelbusseja, koska ne tarvitsevat läpiajettavat, yli 25 m pitkät huoltotilat.

2.12. Ajoneuvotekniikan kehityksen muutokset liikennöintiin

Ajoneuvotekniikan kehitys haastaa myös liikennöinnin- ja joukkoliikenneinfrastruktuurin suunnittelun. Aikaisempaa suuremman kaluston käyttö raskaasti kuormitetuilla linjoilla mahdollistaa vuorovälin harventamisen ja sitä kautta kustannussäästöjä. Kaksoisnivelbusseja käytettäessä on pysäkkiaikojen pitämiseksi normaaleina sallittava avorahastus.

Nykyistä pidemmän linja-autokaluston käyttöönotto on ongelmallista pysäkki-infrastruktuurin ja joukkoliikenneterminaalien kannalta. Viimeiset nivelautot poistuivat liikenteestä vuonna 2007, eikä sen jälkeen rakennettuja pysäkkejä ja terminaaleja ole enää mitoitettu nivelbusseille. Näiden mitoituksessa on käytetty mitoitusajoneuvona telibussia. Pysäkkien muuttaminen pidemmälle kalustolle sopivaksi on yksinkertaista silloin kun pysäkin pidentämiseen on riittävästi tilaa. Helsingin uusimpien linja-autoterminalien, Kampin ja Elielinaukion, laiturit ovat nokkalaitureita, joista auton pitää peruuttaa pois. Tämä rakenne ei sovi kaksoisnivelbusseille, eikä ole toivottava tavallisellekaan nivelbussille (Helsingin seudun liikenne 2011).

Modulaaribussien käyttöönotto vaatisi huomattavia muutoksia pysäkki-infrastruktuuriin. Modulaaribusseilla liikennöitävillä linjoilla pysäkkejä pitäisi muuttaa siten, että bussin pääsisi ajamaan pysäkillä mahdollisimman suoraan perävaunun saamiseksi pysäkillä. Pysäkin sijaitessa risteyksessä heti käännöksen jälkeen perävaunua ei saisi pysäkin reunaan, vaan se jäisi tukkimaan katua. Joukkoliikenneinfrastruktuurin kehittämisen kustannuksia voidaan arvioida toimenpiteiden yksikkökustannusten perusteella (Kuva 5). Pelkkä pysäkkialueen pidentäminen ei yksikkökustannusten perusteella muodostu kohtuuttoman kalliiksi, mutta pysäkkialueen pidentämisen mahdollistamiseksi saatetaan tarvita muitakin toimenpiteitä.

Toimepiteiden yksikkökustannuksia		
Lähde: InInfra Hankeosalaskentapohja, laskentaversio 2007		
Toimenpide	Yksikkökustannus €	Yksikkö
Bussikaistan rakentaminen	200	m
Kiihdytyskaistan pidentäminen	200	m
Kiertoliittymän rakentaminen	36 600	kpl
Kiihdytyskaistan rakentaminen	200	m
Reunakivilinjauksen muotoilu	225	m
Kääntymiskaistan rakentaminen	33	m2
Liikennevalopylväiden siirtäminen	500	kpl
Kadun leventtäminen	85	m
Kaistamerkintöjen muuttaminen	12	m
Kadun kaventaminen	85	m
Liikennemerkkin siirtäminen	100	kpl
Lisäkilven asentaminen	100	kpl
Keskisaarekkeen poistaminen	300	kpl
Tunnistimen asentaminen	2 000	kpl
Kaivonkannen nostaminen	1 800	kpl
Pinnan tasaaminen ja painumien korjaaminen	109	m
Hidasteiden vaihtaminen tyynyhidasteiksi	1 800	kpl
Päällystäminen	109	m
Nuolivihreän asentaminen	25 000	liittymä
Valo-ohjauksen ajoituksen muuttaminen	1 000	kpl
Liikennevalojen rakentaminen	62 000	liittymä
Pysäkkialueen pidentäminen	94	m2
Pysäkkiniemekkeen rakentaminen	94	m2
Pysäkkikatoksen siirto	8 000	kpl
Kevyen liikenteen yhteyden rakentaminen	135	m
Valaistuksen parantaminen	72	m

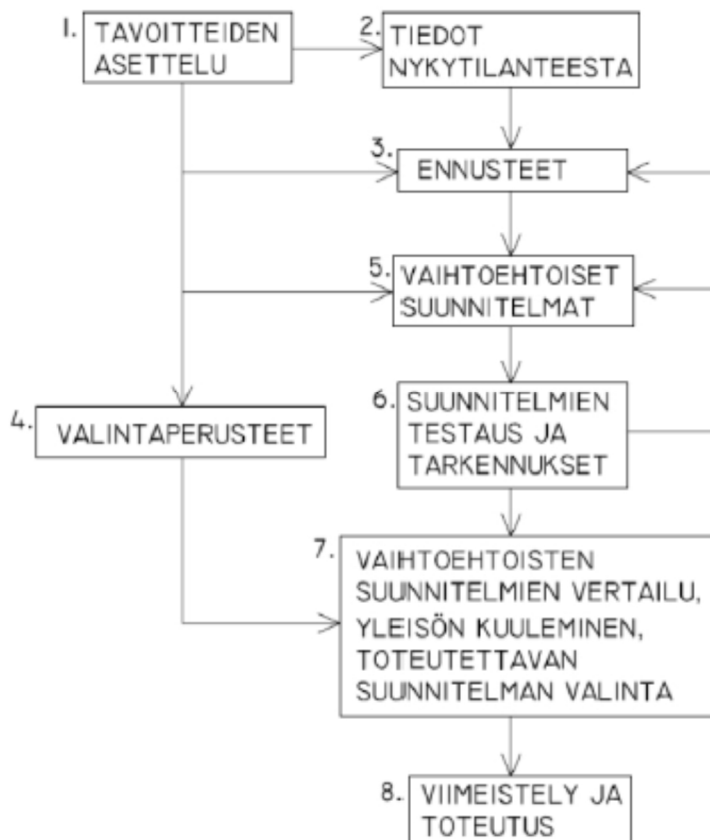
Kuva 5: Infrastruktuurin kehittämisen yksikkökustannuksia (Helsingin kaupungin liikennelaitos 2009)

Sähköbussien käyttöönoton kannalta olisi edullista jos akkujen lataaminen olisi mahdollista auton liikennöintiajan puitteissa, eikä ainoastaan varikolla. Tämä tarkoittaisi suuria investointeja joukkoliikenneterminaaleihin ja linjojen päätepisteille.

3. Linja-autokaluston käytön suunnittelu osana joukkoliikennesuunnittelua

Joukkoliikenteen suunnittelua tehdään monella eri tasolla, eikä sen suunnitteluprosessi ole aina yksisuuntainen ja selkeä. Joukkoliikennesuunnittelu on jaettavissa moniin erillisiin kokonaisuuksiin ja se riippuu monista varsinaisen joukkoliikenteensuunnittelun ulkopuolelta tulevista tekijöistä. Eri alueiden joukkoliikennejärjestelmien erilaisten ominaisuuksien vuoksi joukkoliikenteen suunnittelulle ei ole vakiintunut kansallisesti yhtenäistä järjestelmää (Haapamäki 2010).

Joukkoliikennejärjestelmän suunnitteluprosessia voi jäsentää monella eri tavalla ja tasolla. Kuva 6 esitetty malli kuvaa joukkoliikenteen suunnittelua yleisellä ja abstraktilla tasolla määrittelemättä tarkemmin mitä prosessin eri vaiheet pitävät sisällään. Oleellista tässä kuvauksessa on se, miten se tuo esille eri suunnitelmavaiheiden keskinäisiä vuorovaikutussuhteita. Mallin heikkouksia on, että se esittää joukkoliikennesuunnittelun analyyttisenä, järjestelmällisenä kokonaisuutena ja jättää päätöksentekovaiheen koko kaavion ulkopuolelle. Suurimmassa osassa merkittäviä joukkoliikennehankkeita heräte hankkeen suunnitteluun syntyy julkisessa keskustelussa. Varsinainen päättävävalta joukkoliikenneinvestointien toteuttamisessa on aina jollakin demokraattisesti valitulla luottamuselimellä, joka tekee päätöksen ryhmän omien arvostusten perusteella.

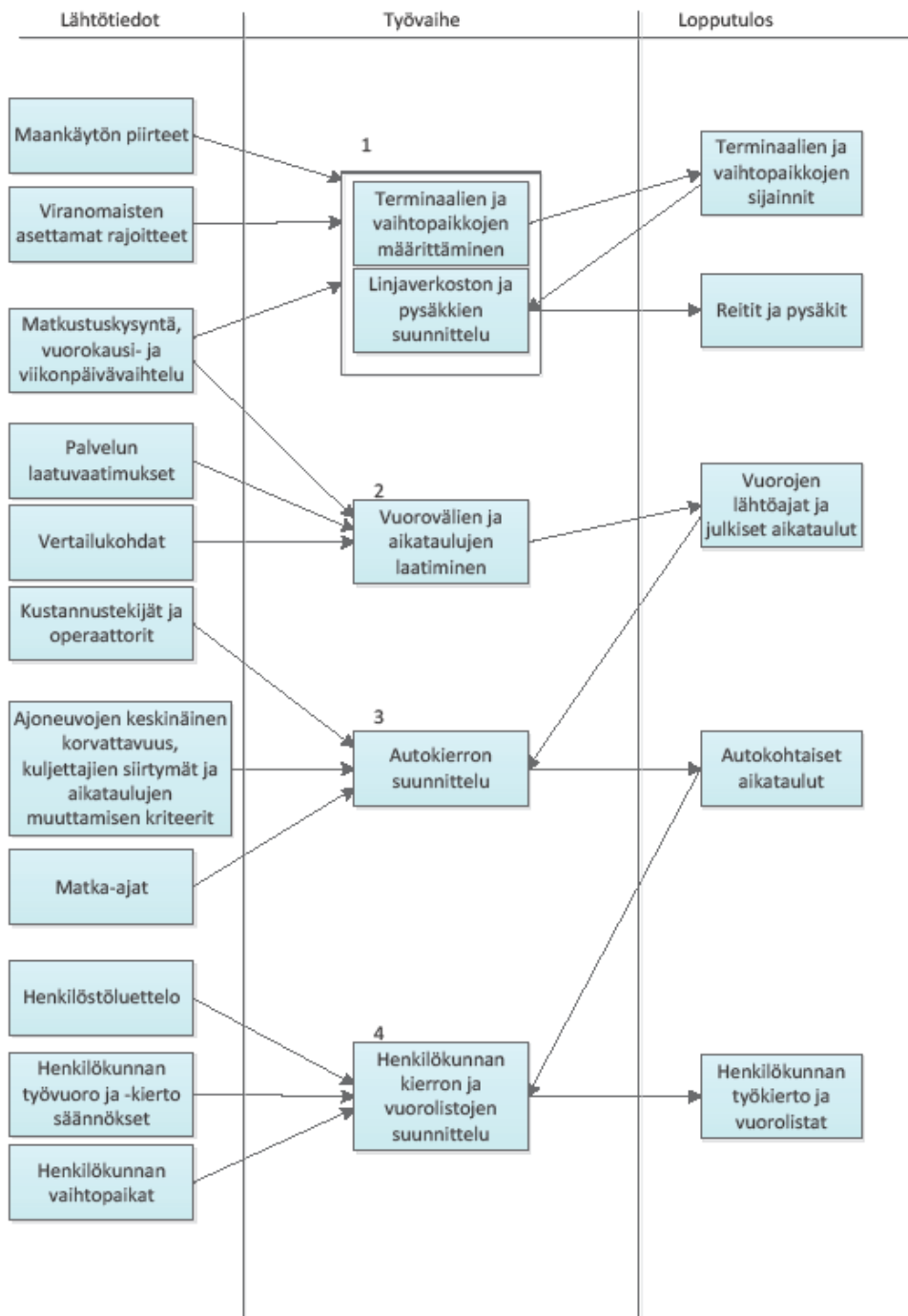


Kuva 6: Joukkoliikennehankkeiden suunnitteluprosessin kuvaus (Haapamäki 2010).

Joukkoliikenteen tuotantoa suunniteltaessa tarkastelutapa on toinen (Kuva 7). Kuvassa esitetty malli jakaa prosessin neljään osaan, jotka rakentuvat toistensa päälle, mutta tarvitsevat myös toistensa ulkopuolisia lähtötietoja. Tämän mallin heikkoutena on sen tapa esittää prosessin kulku yksisuuntaisena. Käytännössä suunnitteluprosessin hierarkia tasojen välillä on kaksisuuntainen yhteys. Osa linjastosuunnittelua on suunnitella linja sellaiseksi, että sen liikennöintiin käytettävien ajoneuvojen käyttö on tehokasta, eikä niille pääse syntymään pitkiä odotusaikoja päätepysäkeillä.

Nämä kaksi mallia kuvaavat sitä, missä asemassa käytettävän kaluston valinta on joukkoliikennettä suunniteltaessa. Suunnitteluprosessia karkeammalla tasolla kuvaavassa ensimmäisessä mallissa joukkoliikennettä katsotaan järjestelmätasolla,

eikä silloin olisikaan mielekästä suunnitella ajoneuvojen ominaisuuksia detaljitasolla. Tarkemmassa mallissa taas käytettävä ajoneuvo on mallin ulkopuolisena oletuksena, eikä mallissa nähdä riippuvaisuutta kalustokoon ja aikataulutuksen välillä.



Kuva 7: Joukkoliikenteen operoinnin suunnittelu (Ceder 2008)

3.1. Liikenteen sääntely

Joukkoliikenteen suunnittelu ei ole ainoastaan joukkoliikennelinjojen, -välineiden ja liikennöinnin suunnittelua, vaan myös koko joukkoliikenteen lainsäädännöllisen pohjan ja organisoinnin suunnittelua.

Joukkoliikenteen harjoittamisen alkuaikoina liikenne oli useimmiten pienten yksityisten yhtiöiden harjoittamaa. Liikenteen harjoittamisessa saatettiin säännellä lähinnä ajoneuvojen ominaisuuksia ja turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Myöhemmin sääntely on lisääntynyt ja laajentunut. Laajimmillaan joukkoliikenteen sääntelyssä määritetään linjojen ja reittien liikennöinti erittäin tarkkaan ajoneuvojen pieniä teknisiä yksityiskohtia myöten. Henkilöliikenteen sääntelypolitiikan voi jakaa sääntelyn voimakkuuden ja ulottuvuuden mukaan neljään tasoon, joista ensimmäinen on täysin säännelty, toinen säännelty ja kilpailutettu, kolmas osittain säännelty ja neljäs täysin sääntelemätön. Täysin säännellyssä politiikassa kaikki keskeiset tekijät on säänneltyjä. Säännellyssä ja kilpailutetussa politiikassa alalle pääsy ja sieltä poistuminen on mahdollistettu kilpailutusmenettelyn kautta, mutta muut tärkeät parametrit, kuten reitit, vuorotarjonta ja tariffit, ovat edelleen säänneltyjä. Osittain säännellyissä järjestelmissä sääntelystä vapautettuja voi olla vain osa liikenteestä tai sitten liikenteen hoidolle on edelleen asetettu joitain rajoitteita. Täysin sääntelemättömässä liikenteessä liikenteen hoitoon liittyviä asioita ei säännellä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että toiminnalla ei olisi mitään rajoitteita. Sääntely voi olla jostain muusta lainsäädännöstä seuraavaa, esimerkiksi ajoneuvojen rekisteröintiä tai erityisryhmien kohtelua koskevaa sääntelyä. (Iles 2005, Powell 2001, Anttila 1996)

Joukkoliikenteen sääntelyllä on yleensä pyritty takaamaan, että joukkoliikenteen harjoittaminen olisi mahdollista myös reiteillä, joilla matkustajamäärät eivät ole niin korkeita, että samalla reitillä voisi toimia useampia kilpailijoita. Samalla on pyritty siihen, että vilkkailla reiteillä ei syntyisi ylisuuren tarjonnan myötä epätervettä

kilpailua, jossa yksi toimija hankkiutuisi monopoliasemaan alihinnoittelun tai toisin sanottuna saalistushinnoittelun avulla. Lupajärjestelmillä on myös pyritty takaamaan liikenne kannattamattomille linjoille velvoittamalla hyvin kannattavan linjan liikennöitsijää liikennöimään myös kannattamatonta linjaa. Tämän tapaista joukkoliikennelinjojen välistä tuoton jakoa kutsutaan ristisubventioksi. (Iles 2005, Anttila 1996)

3.2. Liikenteensääntely Suomessa

Maksua vastaan suoritettava linja-autoliikenne on luvanvaraista toimintaa, jota säännellään erilaisin lupamenettelyin. Linja-autoliikenteen voi jakaa tilausliikenteeseen, linjaliikenteeseen, sopimusliikenteeseen ja kutsujoukkoliikenteeseen. Sopimusliikenteellä tarkoitetaan liikennettä, jossa julkinen tilaajaorganisaatio hankkii liikenteentuotantopalvelun liikennöitsijältä. Linjaliikenteellä tarkoitetaan markkinaehtoisesti toimivaa, liikennöitsijän itsensä suunnittelemaa säännöllistä reittiliikennettä. Tilausliikenteen ja sopimusliikenteen toimijoilta vaaditaan joukkoliikennelupa ja linjaliikennettä harjoittavilta yrityksiltä vielä lisäksi reittiliikennelupa. Joukkoliikenneluvan edellytyksenä on, että sitä hakevan henkilön on oltava vakavarainen, oikeustoimikelpoinen, hyvämaineinen ja ammattitaitoinen. Joukkoliikennelupa voidaan myöntää myös yhtiölle tai yhteisölle, joka on vakavarainen ja jonka liikenteestä vastaava henkilö täyttää edellä mainitut ehdot. Joukkoliikenneluvan myöntää se elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, jonka alueella hakijan kotipaikka on. Reittiliikenne- ja kutsujoukkoliikenneluvan myöntää se elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, jonka toimialueella reitti on. Reitin ulottuessa useamman kuin yhden keskuksen alueelle, luvan myöntää se elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, jonka alueella suurin osa reitistä ajetaan. Suurimmilla kaupunkiseuduilla reittiliikennelupien jakamisesta ja joukkoliikenteen organisoinnista vastaa kaupungin viranomainen tai kaupunkiseudun yhteinen kuntayhtymä. Reittiliikenteen suunnittelusta vastaa liikenteenharjoittaja ja luvan

myöntävän viranomaisen tehtäväksi jää reitin, pysäkkien ja aikataulujen vahvistaminen. (Linja-autoliitto 2011, Joukkoliikennelaki 869/2009).

Nykyinen joukkoliikennelaki astui voimaan vuoden 2010 alussa. Lain valmistelua on ohjannut Euroopan yhteisön palvelusopimusasetus. Palvelusopimusasetus asettaa rajoitteita viranomaisten ja liikennöitsijöiden välisille sopimuksille. Palvelusopimusasetuksella pyritään tukemaan Euroopan yhteisöjen komission vuonna 2001 julkaiseman liikennepolitiikan valkoisen kirjan joukkoliikennettä koskevien tavoitteiden toteutumista. Liikennepolitiikan valkoisessa kirjassa asetetaan tavoitteeksi tuottaa turvallisia, tehokkaita ja korkealaatuisia henkilöliikennepalveluja säännellyllä kilpailulla. Joukkoliikennepalveluiden säänneltyä kilpailutusta ei siis tässä yhteydessä ole pidetty välineenä tavoitteiden saavuttamiseksi, vaan osana itse tavoitetta.

3.3. Joukkoliikenne pääkaupunkiseudulla

Pääkaupunkiseudun joukkoliikenteen järjestämisestä vastaa Helsingin seudun liikenne–kuntayhtymä (HSL). HSL:n tehtäviin kuuluu joukkoliikenteen ja joukkoliikennejärjestelmänsuunnittelu, lippujärjestelmän hallinta, matkustajainformaation tuottaminen, sekä liikennepalveluiden hankkiminen. (Helsingin seudun liikenne 2011).

Pääkaupunkiseudun joukkoliikenne on HSL:n toimesta järjestetty tilaaja-tuottajamallin mukaisesti. Tilaaja-tuottajamallilla tarkoitetaan järjestelyä, jossa julkisen palvelun tuotanto on organisoitu siten, että palvelun tilaajan ja tuottajan roolit erotetaan toisistaan hallinnollisesti. Tilaaja-tuottajamallissa julkinen tilaaja jättää tarjouspyynnön, johon niin julkiset kuin yksityisetkin palveluntarjoajat voivat jättää tarjouksen. Tarjouskilpailun voittaa kokonaistaloudellisimman tarjouksen tehnyt toimija (Työ- ja elinkeinoministeriö 2011).

Tilaajan ja tuottajan välinen vastuunjako keskittää päätöksenteon tilaajalle ja jättää liikennöitsijälle liikennöinnin varsin tiukkojen sopimusehtojen puitteissa. Tilaajan tehtäviin kuuluu joukkoliikennejärjestelmän-, linjaston, aikataulujen ja liikennöinninsuunnittelu, lippujärjestelmän ylläpito ja tuottajan laadun valvonta (Kuukankorpi 2011).

Tässä vastuunjaossa liikennöitsijällä ei ole riskiä matkustajamäärien alenemisesta, eikä se toisaalta saa hyötyä matkustajamäärien kasvusta. Tilaaja taas hyötyy menettelystä siinä, että sillä ei ole liikennöintiin ja kaluston pitoon liittyviä riskejä.

Tanskassa, Kööpenhaminan ympärysalueilla, linja-autoliikenteen suunnittelusta vastaa alueen kuntien omistama Movia. Movian järjestelmässä liikennöitsijöiden kiinnostusta tuottaa laadukasta joukkoliikennepalvelua on parannettu tekemällä liikennöintisopimuksista kannustavia houkuttelevia lisä matkustajia. Sopimuksissa sitoudutaan maksamaan osa lisääntyneen matkustajamäärän seurauksena nousseista lipputuloista suoraan liikennöitsijälle ja osalla lisääntyneistä tuloista taas tilataan lisää liikennettä. Järjestely on ollut liikennöitsijöille mieluinen ja sen myötä joukkoliikenteen matkustajamäärät ovat kasvaneet (Visa 2010).

3.3.1. Liikenteen hankinta

Linja-autoliikenteen hankinta kilpailuttamalla alkoi pääkaupunkiseudulla vuonna 1994 HSL:n edeltäjän, YTV:n kilpailuttaessa ensimmäiset seutulinjat. Myöhemmin kilpailutus on laajentunut Helsingin, Espoon ja Vantaan sisäiseen liikenteeseen. Ennen kilpailutusta liikennöinnistä vastasi sopimusliikennöitsijät ja liikennöinti perustui linjakohtaisiin pysyviin sopimuksiin. Kilpailutuksen myötä liikenteen hintataso laski 20–30% (Kuukankorpi 2011, Helsingin seudun liikenne 2011b).

Pääkaupunkiseudun liikenteen järjestämistapaa kutsutaan sopimusliikenteeksi. HSL:n sopimusliikenteessä sovelletaan liikenteen ostamista bruttohinnalla, joka tarkoittaa sitä, että liikenteen tilaaja pitää lipputulot itsellään ja maksaa

liikennöitsijöille korvauksen sopimuksen mukaisesta liikennöinnistä. Sama menetelmä on käytössä muissakin Suomen suurissa kaupungeissa, kuten Turussa ja Tampereella. Muita tapoja linja-autoliikenteen järjestämiseen ovat linjaliikenneluvat, joissa lupa linjan liikennöintiin myönnetään toimijalle, joka järjestää liikenteen parhaaksi katsomallansa tavalla. Linjaliikenneluvilla toimivasta liikenteestä suurin osa on lipputulorahoitteista ja osaa liikenteestä tuetaan julkisen sektorin toimesta (Linja-autoliitto 2011).

HSL:n tuottama linja-autoliikenne kilpailutetaan yksittäisinä linjoina, tai useampien linjojen muodostamina paketteina. Kilpailukierroksia järjestetään kaksi vuodessa ja liikennöintisopimusten yleisin pituus on seitsemän vuotta. Sopimukseen liitetään usein kolmen vuoden optio, jonka käytön edellytyksenä on, että sekä tilaaja, että tuottaja haluavat jatkaa liikennöintiä saman sopimuksen puitteissa. HSL ilmoittaa tarjouspyynnön yhteydessä linjalle vaaditun kalustomäärän, -tyypin ja -pisteytysperusteet. Lisäksi määritellään kaluston keski-ikä, joka lasketaan tarjouksissa esitettyjen linja-autojen linjakilometreillä painotettuna keskiarvona. Suurin sallittu ikä linja-autolle on tällä hetkellä 16 vuotta. Kalustonpisteytyksen kriteereinä käytetään ajoneuvon päästöluokkaa ja varustelua (Taulukko 3).

Taulukko 3: Linja-autoliikenteen kilpailukierroksen I/2011 pisteytyskriteerit (Kuukankorpi 2011)

Ominaisuus	Pisteet
Haitalliset päästöt NOx ja PM	
Euro 2	0
Euro 3	2
Euro 4	2,8
Euro 5	3
EEV	4,2
EEV hybridi	5,3
Linja-autosta, jonka päästötaso on akkreditoidun tutkimuslaitoksen mittauksilla todistettuna päästöluokan keskiarvoa parempi, annetaan mitattua päästötasoa vastaavat pisteet. Lisäksi laskennassa huomioidaan myös polttoaineen vaihdosta syntyvät päästövähennemät.	max 7,5
Kasvihuonekaasupäästöt	
Kasvihuonekaasupäästöjen osalta referenssitaso on 2-akselisella autolla 1200 g/km ja teliautolla 1450 g/km CO ₂ -ekvivalenttina. Referenssitasoa paremmasta kalustosta annetaan pisteitä päästökuorman mukaan 0,0015 pistettä / (g/km).	max 2,2
Melu (Ulko- sekä sisämelu)	
75 dbA tai alle	3
77 dbA tai alle	1,5
Varustelu	
kameravalvonta	0,4
automaattinen sammutusjärjestelmä	0,4
polttoaineenkulutuksen sekä ajotavan seurantajärjestelmä mittaustulosten dokumentoinnilla	enintään 1,0
matkustajatilan ilmastointi	2
kuljettajatilan ilmastointi (ei lasketa yhteen matkustajatilan ilmastoinnin kanssa)	0,3
alkolukko käynnistykseenestolaitteena	0,3
taukopumppu tai lisälämmitin	0,2
avattavat ikkunat	0,1
muu innovaatio	enintään 2,0
Vähäiset puutteet	
Käytäväleveys etu- ja keskioven välillä kapeimmillaan 530 – 549 mm	-0,2
Käytävän leveys muualla vähintään 480 mm – 499 mm	-0,2
Kulkuaukko enintään 50 mm alle vaatimuksen	-0,2

Autoille on määritelty myös tietyt perusominaisuudet, jotka vaaditaan kaikilta liikenteessä käytettäviltä autoilta. Nämä vaatimukset koskevat autojen istumapaikkamääriä, ovijärjestelyjä, ulkonäköä, ohjaamoa, mainostiloja, valaistusta, linjakilpiä ja muita tarpeellisiksi katsottuja varusteita (Liite 1).

Tarjouksessa liikennöitsijä ilmoittaa ajoneuvot, joilla sopimuksen mukaista liikennettä hoidettaisiin. Liikennöitsijä ei sitoudu käyttämään juuri niitä ajoneuvoja, jotka se on tarjouksessa maininnut, vaan ne asettavat minimitason linjalla käytettävien ajoneuvojen laatupisteille. Liikennöitsijä voi siis käyttää tarjoamansa auton sijasta myös paremmat pisteet saavaa autoa.

HSL seuraa liikenteen sopimuksenmukaisuutta velvoittamalla liikennöitsijän raportoimaan linjoilla käytetystä kalustosta. Tarjouksessa luvattua huonommalla kalustolla ajetuista lähdöistä maksetaan liikennöitsijöille vain 90% sopimuksen mukaisesta hinnasta. Sopimukseen sisältyy tilaajalle mahdollisuus muuttaa liikennettä sopimuskauden aikana. Tilaaja saa muuttaa sopimuksessa mainittuja kilometrisuoritteella mitattuja liikennemääriä vuodessa 10 % ja koko sopimuskauden aikana 20 %. Kohteessa käytetyn kaluston määrää tilaaja voi muuttaa kohteen kalustomäärän asettamissa rajoissa (Taulukko 4). Tätä suurempiin muutoksiin tarvitaan myös liikennöitsijän suostumus (Helsingin seudun liikenne 2011e).

Taulukko 4: Liikennöintisopimuksissa sallitut kalustomuutokset (Helsingin seudun liikenne 2011e)

Kohteen kalustomäärä	Sopimuksessa sallittu kalustonmäärän muutos
1–4 autoa	±1
5–9 autoa	±2
10–19 autoa	±3
Vähintään 20 autoa	Enintään 20 % kohteen automäärästä

Liikennöintikorvaukset muodostuvat tarjouksessa esitetyistä yksikkökustannuksista ja toteutuneesta liikennesuoritteesta, sekä laatukannustimista. Liikennöinti hinnoitellaan jakamalla kustannukset autopäivään, linjatuntiin ja linjakilometriin. Kustannusjaottelu on tehty siten, että autopäivään on tarkoitus sisällyttää pääoman

poisto, korot, vakuutukset ja yleiskustannukset. Linjatunti sisältää kuljettajien palkkakustannukset, välilliset palkkakustannukset, 50% poltto- ja voiteluaineista. Linjakilometri taas sisältää renkaat ja muut varaosat, korjauksen, huollon ja loput 50 % poltto- ja voiteluaineista. Yksikköhinnat lasketaan kohdekohtaisesti, eikä esimerkiksi viikonloppu, pyhäpäivä tai iltahintoja lasketa erikseen (Helsingin seudun liikenne 2010).

Laatukannusteet muodostuvat kahdesta osasta: matkustajien kyselytutkimukseen antamien vastausten perusteella määräytyvästä asiakastyytyväisyysbonuksesta, sekä liikennetuotannon toteutunutta laatutasoa kuvaavasta laadunseurantabonuksesta. Liikennöinti kohteiden tarjouspyynnöissä on määritelty kohdekohtainen laatutasovaatimus, johon asiakastyytyväisyyskyselyjen tuloksia verrataan. Asiakastyytyväisyysbonuksen laskentamenetelmässä huomioidaan yksittäisen kohteen liikennöinnistä riippumattomia tekijöitä vertaamalla joukkoliikenteen yleisarvosanan keskiarvoa kohdekohtaiseen viitetasoon.

Laatubonusta maksetaan korkeintaan 4% kohteesta tutkimuskaudella maksetusta liikennöintikorvauksesta. Kannustearvosanan alittaessa päivitetyn tavoitetason, veloitetaan liikennöitsijää esittämään tilaajalle toimenpidesuunnitelma laadun parantamiseksi.

Laadunseurantabonus jaetaan liikennöitsijöiden kesken suhteellisella vertailumenetelmällä. Menetelmässä verrataan kaikkien HSL:n sopimusliikenteeseen kuuluvien kohteiden laatuarvosanaa siten, että parhaimpaan kolmannekseen sijoittuvien kohteiden liikennöitsijät saavat palkkion 1%:n ja toiseen kolmannekseen kuuluvat 0,5%:n palkkion kyseisen kohteen korvaussummasta. Viimeiseen kolmannekseen sijoittuvat eivät saa palkkiota (Helsingin seudun liikenne 2011e).

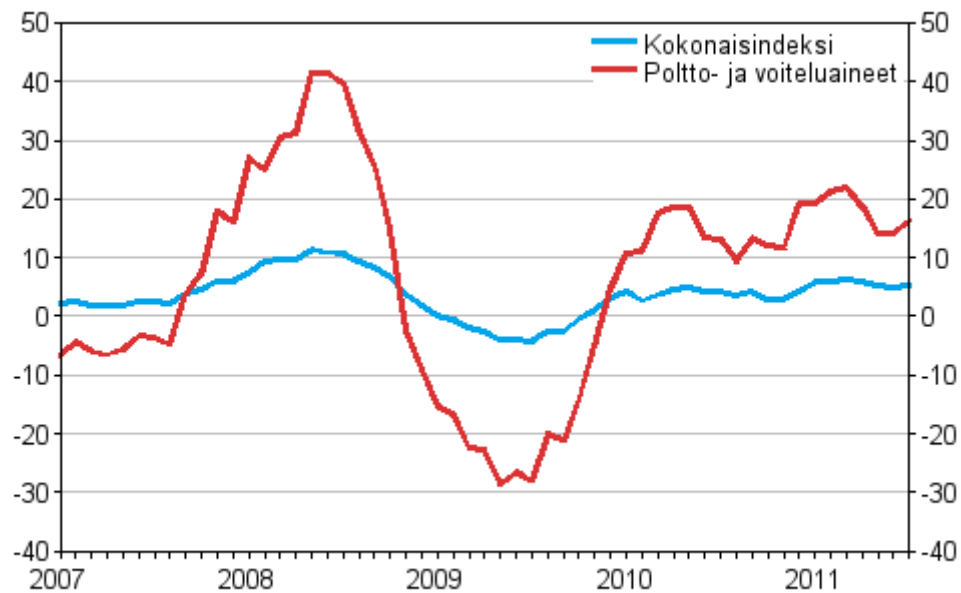
Yksikköhintojen ollessa samat riippumatta viikonpäivästä, liikennöitsijät joutuvat hankalaan asemaan tilaajan halutessa lisätä palkkakustannuksiltaan kalliimpaa viikonloppuliikennettä (Nykänen 2011).

Linjojen liikennöinti vääränlaisella tai rikkiäisellä kalustolla, aikataulusta myöhästyminen, vuoron ajamatta jättäminen ja muu liikennesopimuksen vastainen toiminta johtaa HSL:n liikennöitsijältä perimiin sopimussakkoihin. Sakkojen suuruus riippuu aiheutuneen haitan vakavuudesta, sekä siitä miten usein sopimusrikkomuksia esiintyy kyseisessä kohteessa. Ajamattomista lähdöistä ei makseta lähdön korvausta ja lisäksi kuukausittaisesta korvaussummasta vähennetään vuoron hintaa vastaava summa jos liikennöitsijä on etukäteen ilmoittanut lähdön jäävän ajamatta sovitun käytännön mukaisesti, 1,5-kertainen summa, jos liikennöitsijä on raportoinut asian jälkikäteen ja 4-kertainen summa jos liikennöitsijä ei ole ilmoittanut lähdön jääneen ajamatta. Vuoro katsotaan ajamattomaksi myös silloin kun vuoroa ei pystytä ajamaan loppuun asti, se on lähtiessään yli 15 minuuttia myöhässä, lähtee etuajassa, tai lähtee myöhemmin kuin saman linjan seuraava vuoro. Liikennöitsijälle ylivoimaisista esteistä johtuvista ajamattomista lähdöistä ei aseteta sanktioita (Helsingin seudun liikenne 2011e).

Vääränlaisesta kalustosta vähennetään liikennöitsijälle maksettavasta korvaussummasta tapauskohtainen summa. Jos kohteessa käytettyjen linja-autojen linjakilometreillä painotettu keski-ikä ylittää kohteen vaatimukset enintään kahdella vuodella, vähennetään korvausta 5 % ja mikäli yli kahdella vuodella, vähennetään korvausta 10 %. Käytetyn kaluston ollessa huonompaa kuin kohteen vaatimustaso, vähennetään korvausta 10 %. Käytettäessä teli- tai nivelbussin sijasta 2-akselistabussia, vähennetään liikennöintikorvauksesta 25 %. Myös kohteen tarjouksessa esitettyä huonompaa kalustoa käytettäessä voidaan vähentää korvausta 10 %. Tämä vähennys voidaan kuitenkin jättää perimästä silloin kun kyse on tilapäisistä poikkeamista tai ne johtuvat poikkeuksellisista olosuhteista (Helsingin seudun liikenne 2011e).

Sopimusten pitkän keston ja sitovuuden vuoksi sopimusten hintataso on sidottu linja-autoliikenteen kustannusindeksiin. Sopimuskauden aikana liikenteen tuotantokustannukset nousevat ja osa kustannustekijöistä on sellaisia joiden hintakehitystä on hankala arvioida (Kuva 8). Etenkin poltto- ja voiteluaineiden hinnat vaihtelevat voimakkaasti öljyn hinnan ja yleisen taloudellisen tilanteen

mukaan. Kuljettajien heikko saatavuus puolestaan kasvattaa palkkakustannuksia kun suurempi osa vuoroista joudutaan ajamaan ylitöinä.



Kuva 8: Linja-autoliikenteen kustannusindeksin kehitys 2007-2011

3.3.2. Kaupunkiliikenteen liikennöinti

Pääkaupunkiseudun liikenteen kilpailulle avautumisen jälkeen joukkoliikennemarkkinoilla on tapahtunut paljon muutoksia. Osa vanhoista liikennöitsijöistä on lopettanut toimintansa kokonaan ja osa vetäytynyt pääkaupunkiseudun liikenteestä hävittyänsä kilpailutettavaksi siirtyneitä vanhoja linjojansa. Jäljelle jääneiden liikennöitsijöiden omistussuhteissa on tapahtunut suuria muutoksia. Aiemmin julkisessa omistuksessa olleet Espoon auto ja Vantaan liikenne siirtyivät yksityisomistukseen Helsingin kaupungin liikennelaitoksen ja Suomen turistiauton pysyessä Helsingin kaupungin omistuksessa. Suurimpien yksityisten liikennöitsijöiden, nykyään Nobina ja Veolia, nimi ja omistuspohja ovat vaihtuneet useaan otteeseen.

Liikennöitsijöiden välisessä kilpailussa tärkeimpiä kilpailutekijöitä ovat varikon sijainti ja kapasiteetti, sekä liikennöitsijän käyttämät tietojärjestelmät ja organisaatiomalli. Useat liikennöitsijöiden kustannustekijät maksavat kaikille liikennöitsijöille saman verran. Linja-autonkuljettajien palkoissa ja lomakäytännöissä on pieniä eroja riippuen siitä onko työnantaja yksityinen vai kaupungin omistama. Linja-autojen, vakuutusten, renkaiden ja varaosien voi myös arvioida olevan jokseenkin samanhintaisia kaikille liikennöitsijöille.

Liikennöintisopimukset jaotellaan kilpailutusvaiheessa erisuuruuksiksi kokonaisuuksiksi, joka mahdollistaa erikokoisten, ennen kaikkea myös pienempien toimijoiden osallistumisen tarjouskilpailuihin.

Suurilla, useammalla paikkakunnalla tai eri maissa toimivilla liikennöitsijöillä on mahdollisuus siirtää kalustoa toimipisteiden välillä, jolloin liikenteen vähentyessä voimakkaasti kalusto ei jää seisomaan tyhjänpanttina. Pääkaupunkiseudun liikenteessä käytettävä kalusto eroaa Euroopassa yleisesti käytetystä kalustosta, jonka vuoksi mahdollisuus siirtää kalustoa ulkomaille ei ole kovin merkittävä hyöty. Varikon sijainti vaikuttaa ajomatkaan linjojen päätepysäkeille. Liikennöintikorvaus maksetaan linjalla suoritetusta liikenteestä, jolloin varikolta päätepysäkille ajon kustannukset pitää sisällyttää liikenteen hinnoitteluun. Pitkät ajomatkat varikolta linjojen päätepisteisiin tuottavat suoria kustannuksia linja-auton ajokilometreistä ja kuljettajan palkasta. Siirtoajo tuottaa epäsuoria kustannuksia vaikuttamalla kuljettajan ajorupeamien ja työvuoron pituuteen, jolloin pitkien siirtoajojen takia ei kuljettajien työaikaa välttämättä voida käyttää tehokkaasti.

Sopimuskauden pituus HSL:n liikennöintisopimuksissa on aiemmin ollut viisi vuotta kahden lisävuoden optiolla ja on nyt uusimpiin sopimukseen nostettu seitsemään vuoteen kolmen vuoden optiolla. Sopimuskauden pituus on sekä liikennöitsijän, että tilaajan kannalta ongelmallinen kysymys. Sopimusten pidentäminen on nykyisessä tilanteessa ollut liikennöitsijöiden kannalta hyvä asia. Tämä on johtunut käytetyn kaluston heikosta uudelleen käytettävyydestä, jolloin pitkät sopimukset ovat tehneet kalustoon investoimisen turvallisemmaksi. Sopimusten pidentämisen

huonona puolena on kuitenkin se, että tulevaisuuteen liittyvät epävarmuudet kasvavat eksponentiaalisesti suhteessa ennustettavan aikajakson pituuteen. Seitsemän vuoden sopimuskauden aikana voi tapahtua paljon liikennöitsijän toimintaan vaikuttavia asioita. Varikko-olosuhteet, polttoaineen hinta, kuljettajien saatavuus ja pitkän sopimuksen aikana sallitut muutokset liikenteen määrässä saattavat muuttaa alkujaan hyvinkin kannattavan sopimuksen tappiolliseksi sopimuskauden loppuun mennessä, huolimatta sopimushintojen linja-autoliikenteen kustannusindeksin mukaisista korjauksista. Tilaajan kannalta pitkien sopimusten ongelmallisuus liittyy tulevaisuuden liikennekysynnän ennustamiseen ja sopimusten sitovuuteen nykyiseen linjastorakenteeseen. Joukkoliikennejärjestelmän kehittäminen hidastuu kun sopimukset sitovat toimijoita entistä pidemmäksi aikaa (Tinnilä 2011).

Liikennöintikausien lyhentäminen edellyttää kuitenkin varikoihin ja kalustoon liittyvän jäykkyyden vähentämistä. Kaluston osalta tämä tarkoittaisi kalustoon kohdistuvien vaatimusten alentamista, jolloin paremman tarjonnan avulla saavutettaisiin matalampia hankintahintoja ja parempi uudelleenkäytettävyys kalustolle. Varikkotilojen heikko saatavuus näkyy tällä hetkellä selkeänä rajoitteena markkinoille pääsulle. Lisäksi varikkojen harvan sijoittelun takia varikon hallinta alueella luo suuren etulyöntiaseman sen alueen linjojen liikennöintiin. Pääoman investoiminen varikon rakentamiseen ei ole liikennöitsijöille alan heikon kannattavuuden ja epävarmuuden takia mielenkiintoista (Tinnilä 2011).

Varikoiden saatavuuden parantamiseksi on ehdotettu yhteiskunnan omistamien yhteisvarikoiden perustamista. Yhteisvarikoilta vuokrattaisiin tilaa liikennöitsijöille tarpeen mukaan tai varikkopaikkoja voitaisiin mahdollisesti sitoa linjakohtaisiin liikennöintisopimuksiin. Liikennöitsijöiltä tämän tyyppinen esitys on saanut ristiriitaisen vastaanoton. Osa liikennöitsijöistä on tyytyväisiä nykyiseen käytäntöön ja osa taas kokee varikoiden huonon saatavuuden heikentävän mahdollisuuksia voittaa liikennettä muualta kuin oman varikon läheisyydestä. Nykyisistä varikoista merkittävä osa on jo nyt julkisessa omistuksessa, mutta niiden hallinnointi on annettu yhdelle liikennöitsijälle. Pienemmillä toimijoilla on joitain omia

teollisuusalueiden yhteydessä olevia varikoita (Pääkaupungin yhteistyövaltuuskunta 2009b).

Joukkoliikenteen eri toimijoilla on rooliensa takia erilaiset painotukset joukkoliikenteen suorituskyvyn, eli taloudellisen tehokkuuden suhteen. Joukkoliikenteen tuottajan kannalta mielenkiintoisia mittareita ovat kustannusten ja käytetyn työpanoksen suhde ajokilometreihin, kustannusten jakautuminen muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin ja palvelun käyttöaste ja lipputulot silloin kun ne vaikuttavat liikennöitsijän tuloihin. Kuluttajan kannalta tärkeitä mittareita ovat matkan hinta, palvelutaso, palvelun luotettavuus ja turvallisuus. Yhteiskunnan kannalta on mielekästä arvioida joukkoliikenteen matkustajamääriä, kokonaiskustannuksia, matkustajakilometrejä sekä asukasmäärää suhteessa subvention suuruuteen (Anttila 1996).

3.3.3. Joukkoliikenteen suunnittelu pääkaupunkiseudulla

Joukkoliikenteen suunnittelun korkein taso on pitkän aikavälin strateginen suunnittelu. HSL:ttä edeltäneessä pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnassa (myöhemmin YTV) joukkoliikenteen suunnittelu oli jaoteltu siten, että strategisessa suunnittelussa määriteltiin joukkoliikennejärjestelmän pitkän aikavälin tavoitteita yhdessä muun liikennejärjestelmän suunnittelun kanssa. Tästä seuraavalla alemmalla kts-tasolla laadittiin tavoitelinjasto suunnitelma. 5-vuotistasolla laadittiin seudun joukkoliikennesuunnitelma ja 1-3-vuotistasolla Palvelutaso- ja rahoitussuunnitelma, liikennöintisuunnitelma, sekä aikataulut.

Strateginen taso	PLJ	Joukkoliikennestrategia Joukkoliikenteen erillisselvitykset
KTS-taso	Tavoitelinjasto suunnitelma	Seudun bussiliikenteen toimintaedellytysten kehittämisselvitys
5-vuotistaso	Seudun joukkoliikenne- suunnitelma	
1–3-vuotistaso	Palvelutaso- ja rahoitussuunnitelma	
	Liikennöinti- suunnitelma	
	Aikataulut	

Kuva 1. Joukkoliikennesuunnittelun tasot YTV:ssä.

Kuva 9: Joukkoliikenteen suunnittelu YTV:ssä (Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2009)

3.4. Linjastosuunnittelu

Joukkoliikenne linjalla tarkoitetaan kiinteää reittiä, jolla liikennöidään ennalta määritellyllä aikataululla. Yksittäiset linjat muodostavat yhdessä joukkoliikenne linjaston. Linjastosuunnittelun tavoitteet voidaan jakaa kolmeen kategoriaan:

1. Korkean matkasuoritteiden tuottaminen
2. Korkean tehokkuuden saavuttaminen
3. Positiivisten vaikutusten tuottaminen

Korkeaan matkasuoritteeseen pyritään suunnittelemalla linjat nopeasti liikennöitäviksi, matkustajille hyvin soveltuviksi ja houkutteleviksi. Korkeaan tehokkuuteen puolestaan pyritään suunnittelemalla linjasto tehokkaasti liikennöitäväksi. Linjaston tuottamia positiivisia vaikutuksia puolestaan voivat olla

ruuhkien pienentyminen, saavutettavuuden parantaminen, maankäyttöön vaikuttaminen tai elämän laadun parantaminen. (Vuchic 2005).

Linja-autolinjojen suunnittelu rakentuu useimmiten vanhan joukkoliikennelinjaston, olemassa olevan infrastruktuurin ja maankäytön varaan. Linjastosuunnittelussa joudutaan tekemään kompromissi parhaan mahdollisen palvelun, suuren käyttäjämäärän ja taloudellisten rajoitteiden välillä. Linjaston rakenteen tulisi olla selkeä ja linjojen päällekkäisyyksiä tulisi välttää. Linjastosuunnittelulla vaikutetaan myös joukkoliikenteen kilpailukykyyn, jolloin joukkoliikennelinja tulisi ihannetilanteessa suunnitella sellaiseksi, ettei sen matka-aika olisi yli 20 % henkilöauton matka-aikaa hitaampi. (Transportation Research Board 1980)

Nykyisessä suunnittelukäytännössä joukkoliikennelinjaston suunnittelun lähtökohtana pidetään eri alueille määriteltyjä joukkoliikenteen palvelutasovaatimuksia, yhteystarpeita ja taloudellisia rajoitteita. Linjastosuunnittelun tavoitteet ovat osittain keskenään ristiriitaisia, eikä kaikkia niistä aina pystytä toteuttamaan. (Ojala, Pursula 1994)

Linjastosuunnittelu vaikuttaa voimakkaasti muuhun kalustonkäytön suunnitteluun. Keskitettäessä asuinalueita palveleva joukkoliikenne yhdeksi linjaksi, voidaan suuremman linjakohtaisen kysynnän ansiosta käyttää lyhyempää vuoroväliä. Samalla linja-autojen täyttöaste paranee ja voidaan käyttää suurikokoisempaa kalustoa pienempien liikennöintikustannusten saavuttamiseksi. Linjaston hajauttamisella taas saadaan palvelu vietyä lähemmäs käyttäjää ja näin tehtyä joukkoliikenteen käytöstä houkuttelevampaa. Linjoilla käytettävää kalustoa ei voi kuitenkaan valita vapaasti linjan kuormituksen ja palvelutason mukaisesti, vaan myös linjan liikennöintiympäristön soveltuvuus suunnitellulle kalustolle on huomioitava.

3.4.1. Linjastosuunnittelu pääkaupunkiseudulla

Joukkoliikenteen suunnittelua HSL:n alueella ohjaavassa joukkoliikenteen suunnitteluohjeessa on määritelty neljä palvelutasoluokkaa, joille järjestettävälle joukkoliikenteelle on erilaiset vaatimukset. Korkeimpaan luokkaan kuuluvat alue- ja kaupunkikeskukset, suuret kerrostaloalueet, sekä niiden väliset yhteydet. Toiseksi korkeimpaan luokkaan kuuluvat pienten kerrostalokaupunginosien ja Helsingin keskustan väliset yhteydet, pienten kerrostaloalueiden ja paikalliskeskusten väliset yhteydet, sekä erittäin merkittävien työpaikka-alueiden yhteydet kaupunkikeskuksiin. Kolmanteen luokkaan lukeutuvat omakotitaloalueiden ja kaupunkikeskusten, sekä merkittävien työpaikka-alueiden ja kaupunkikeskusten väliset yhteydet. Alimpaan luokkaan kuuluvat haja-asutusalueiden ja kaupunkikeskusten, sekä merkittävien tilaa vievän kaupan ja kaupunkikeskusten väliset yhteydet (Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2009).

Alueelle asetettu palvelutasoluokitus määrittää joukkoliikenteen tavoitteellisen liikennöintiajan ja vuorovälin. Kävelymatkan pituudessa noudatetaan alueiden jakoa kerrostalo-, pientalo- ja haja-asutusalueisiin. Sallittuun kävelymatkan pituuteen vaikuttaa myös joukkoliikennemuoto. Raideliikenteen asemille hyväksytään pidemmät kävelymatkat kuin bussipysäkeille.

Taulukko 5: Minimi vuorovälit palvelutasoluokittain (Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2009)

Vuoroväli	(min)			
	****	***	**	*
Arki				
- ruuhka	15	20	30	60
- päivä ja varhaisilta	20	30	60	60
- varhaisaamu ja myöhäisilta	30	60	60	-
Lauantai				
- päivä (klo 11–18)	20	30	60	60
- muu aika	30	60	60	60
Sunnuntai	30	60	60	60

3.5. Linjatyytit

Joukkoliikennelinjat on jaettavissa reitin päätepisteiden sijainnin perusteella eri linjatyyteihin. Perustyytejä ja niiden ominaisuuksia joukkoliikennelinjoilla ovat (Ojala, Pursula 1994):

- keskustan sisäinen linja:
 - o Molemmat päätepaikat keskustan sisällä
 - o Liikenne jakautuu tasaisemmin koko päivälle
 - o Paikkakysyntä on tasaista koko linjalla
- säteisinja
 - o Toinen pääteasema keskustassa ja toinen kaupungin reuna-alueella
 - o Kysynnän tuntivaihtelu voimakasta
 - o Ruuhkasuunta yleensä aamulla keskustaan päin ja iltapäivällä ulos keskustasta
 - o Linjan kuormitusaste nousee keskustaan päin mentäessä
- heilurilinja
 - o Linja kulkee keskustan läpi ja sen molemmat pääteasemat ovat keskustan ulkopuolella
 - o Kuormitusaste vaihtelee voimakkaasti linjan varrella
- rengasinja
 - o Yhteen tai kahteen suuntaan liikennöity rengasmainen linja, joka voi joko pistäytyä keskustassa tai sijaita kokonaan sen ulkopuolella
 - o
- poikittaisinja
 - o Säteismäisten linjojen poikkisuunnassa kulkeva linja, joka toimii sekä poikittaisena yhteytenä, että syöttää matkustajia säteittäisille linjoille
- liityntälinja
 - o Lyhyehkö joukkoliikenteen runkoyhteydellä matkustajia syöttävä linja

Linjan ominaisuudet vaikuttavat voimakkaasti sillä käytetyn kaluston valintaan. Pidemmällä moottoritieosuuksilla pyritään välttämään tilannetta, jossa kaikille matkustajille ei riitä istumapaikkaa. Tämän takia, etenkin voimakkaammin kuormitetuilla, moottoriteitä osan matkaa kulkevilla säteittäislinjoilla käytetään telikalustoa mahdollisimman suuren istumapaikkamäärän saavuttamiseksi. Muilla linjoilla sallitaan ruuhka-aikoina 100% ja sen ulkopuolella 75% kuormitusaste. Tämän seurauksena enimmäkseen tavallisilla kaduilla liikkuvilla linjoilla ei ole niin paljoa käyttämätöntä kapasiteettia ruuhka-ajan ulkopuolellakaan. (Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2009)

3.6. Liikenteen kysyntä

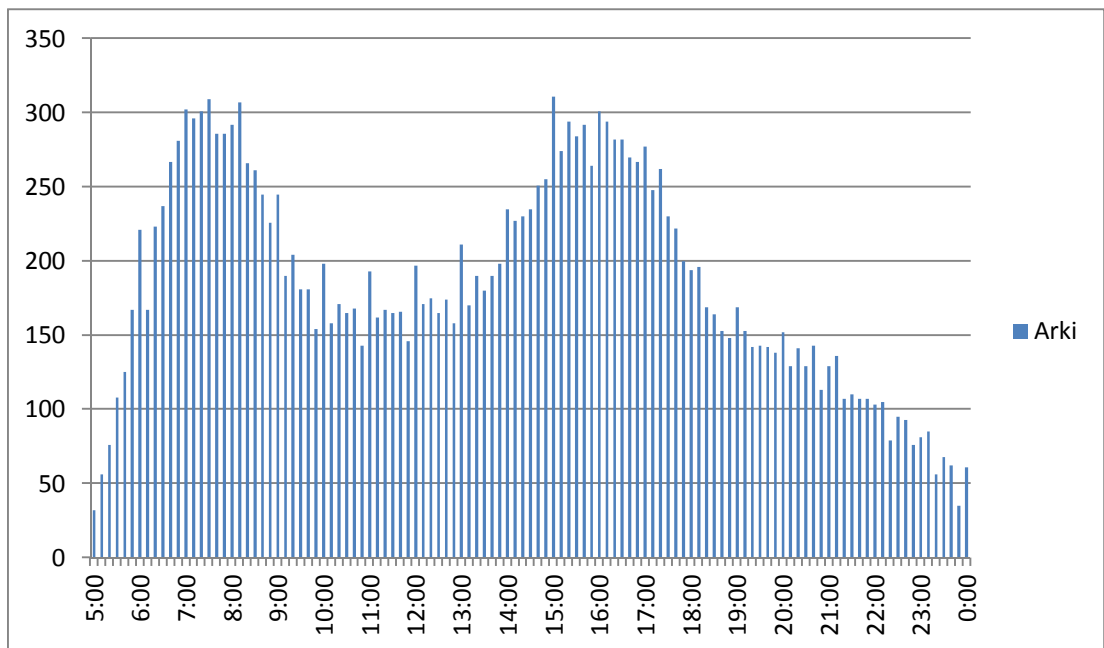
Liikenteen kysyntä vaihtelee vuodenajan, viikonpäivän ja vuorokaudenajan mukaan. Liikennemäärien säännönmukaisia ajallisia vaihteluita kutsutaan liikenteen vaihtelumuodoiksi. Liikenteen tuntivaihtelu syntyy työ-, lepo- ja vapaa-ajan mukaisista sykleistä siten, että vuorokauden vilkkaimman tunnin liikenne on yleensä 10 – 12 % koko vuorokauden liikennemäärästä (Luttinen 2005).

Joukkoliikenteen kapasiteetti on mitoitettava ruuhka-aikojen huippukuormitusten mukaisesti, jonka seurauksena ruuhka-aikojen ulkopuolella on runsaasti käyttämätöntä kapasiteettia. Linja-autoliikenteessä kysynnän vaihteluun vastataan lisäämällä vuorotarjontaa kaluston koon pysyessä vakiona. Rautatie- ja metrolinjoissa puolestaan on mahdollista lisätä yksikkökokoa lisäämällä vaunuja tai junayksiköitä ruuhka-ajan vuoroihin.

3.6.1. Liikenteen kysyntä pääkaupunkiseudulla

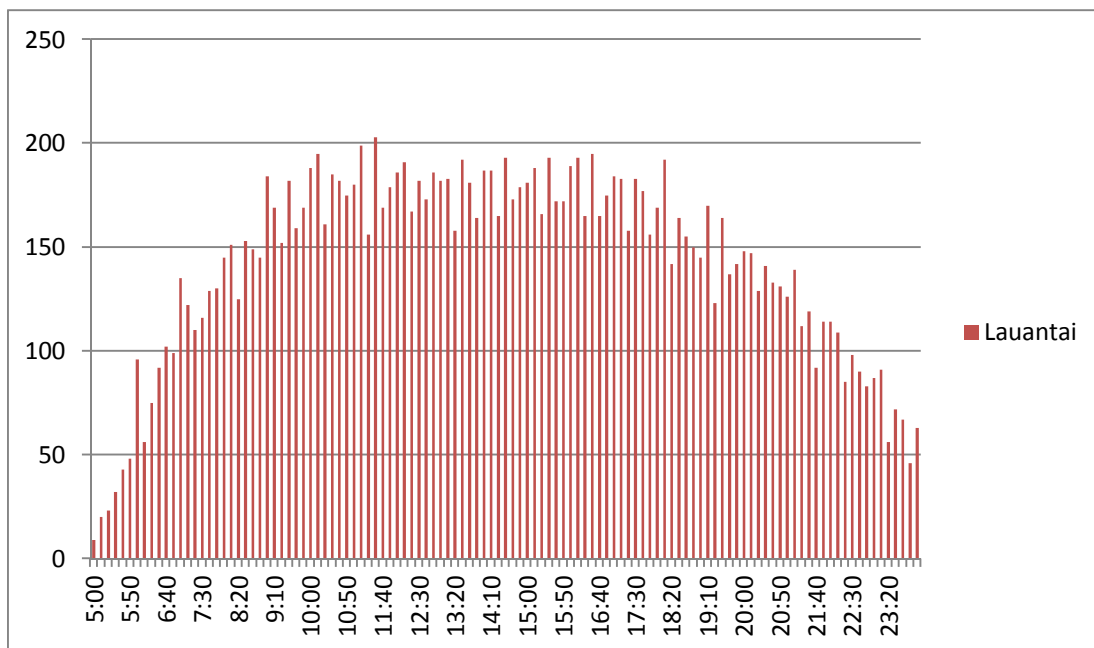
HSL:n tilaaman liikenteen vuorojakaumassa (Kuva 10) aamu- ja iltaruuhkan aikana lähtee lähes kaksinkertainen määrä vuoroja keskipäivän liikenteeseen nähdyksi. Aamupäivällä kysyntäpiikki on terävämpi ja keskipäivää suurempi lähtömäärä on tarjolla noin kolmen tunnin ajan. Iltapäiväruuhkan aikana kysyntä piikki on laveampi

ja suurempi vuorotarjonta ulottuu pidemmälle ajalle. Iltapäiväruuhkan jälkeen vuorojen määrä vähenee tasaisesti kohti iltaa.

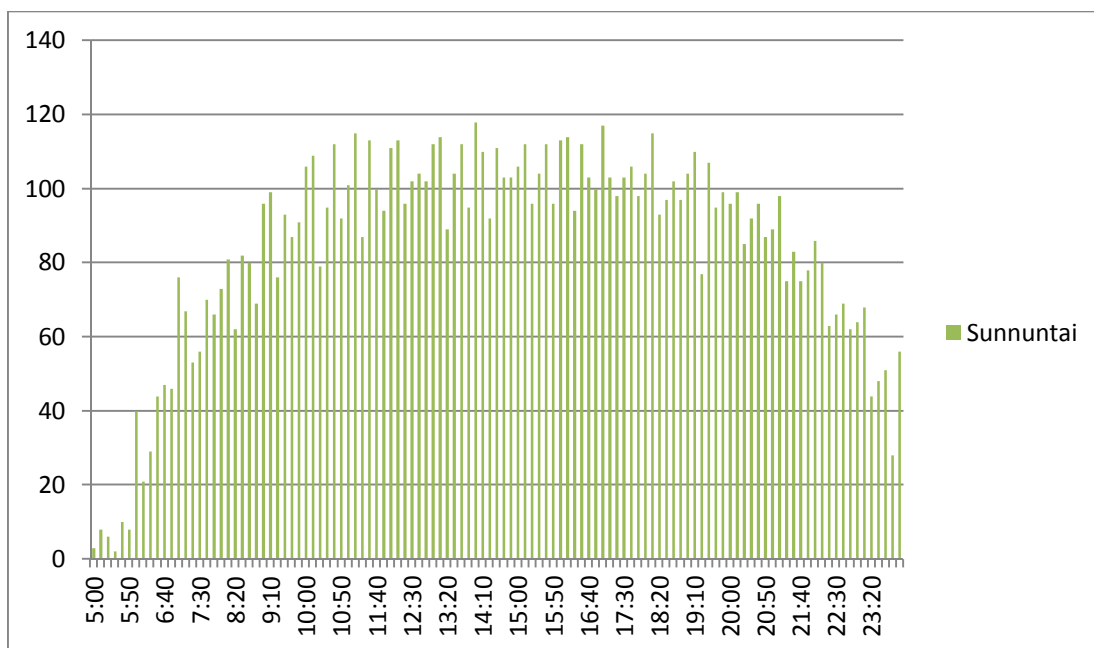


Kuva 10: Arkivuorokauden vuorotarjonta kevään 2011 aikataulukaudella 10 minuutin jaksojen aikana

Viikonloppujen liikenteessä vastaavantyyppistä piikkiä tarjottujen vuorojen määrässä ei ole. Vuorojen määrä pysyy melko samansuuruisena läpi päivän. Lauantain liikenteessä vuoro tiheys on samaa suuruusluokkaa arkipäivän keskipäivän liikenteen kanssa. Sunnuntailiikenteen tarjonnan jakauma on samanmuotoinen, mutta koko päivän vuoromäärä on noin 40% pienempi.



Kuva 11: Lauantai vuorotarjonta kevään 2011 aikataulukaudella 10 minuutin jaksojen aikana



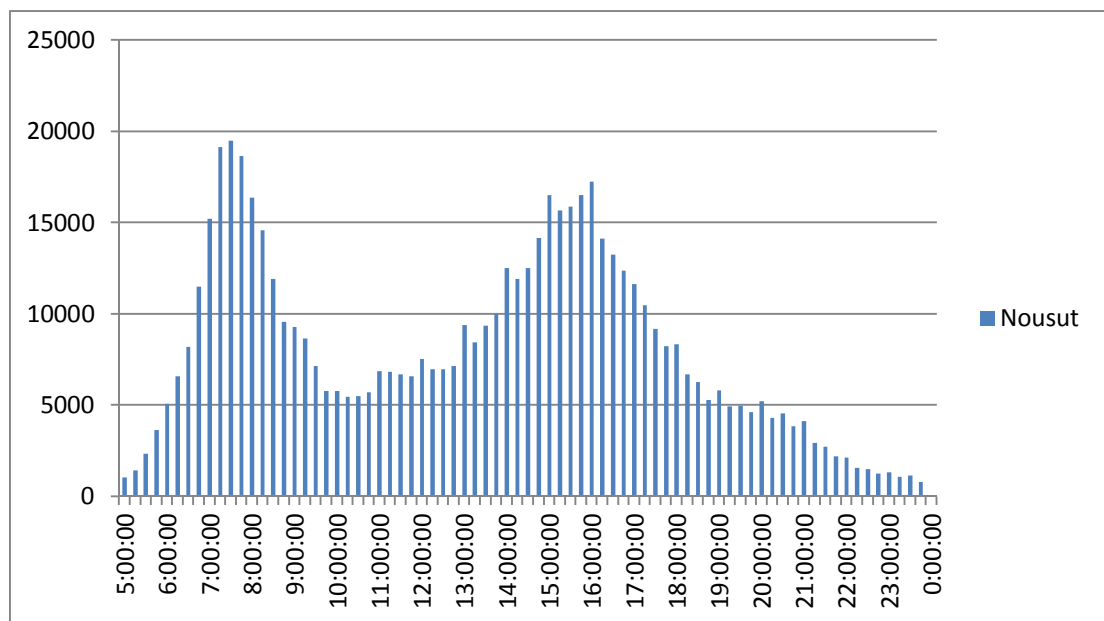
Kuva 12: Sunnuntain vuorotarjonta kevään 2011 aikataulukaudella 10 minuutin jaksojen aikana

Ruuhka-aikojen ulkopuolella pyritään korkean palvelutason tuottamiseksi ajamaan vuoroja palvelutasoluokitusten mukaisesti. Monissa tapauksissa palvelutasoluokitus edellyttää tiheämpää vuoroväliä kuin matkakysynnän perusteella olisi tarpeellista,

jonka seurauksena ruuhka-ajan ulkopuolisten vuorojen täyttöaste jää usein vaatimattomaksi. Joukkoliikenteen kysyntään aiheutuva ruuhkapiikki on siis merkittävästi terävämpi kuin pelkän vuorotarjonnan perusteella voi päätellä.

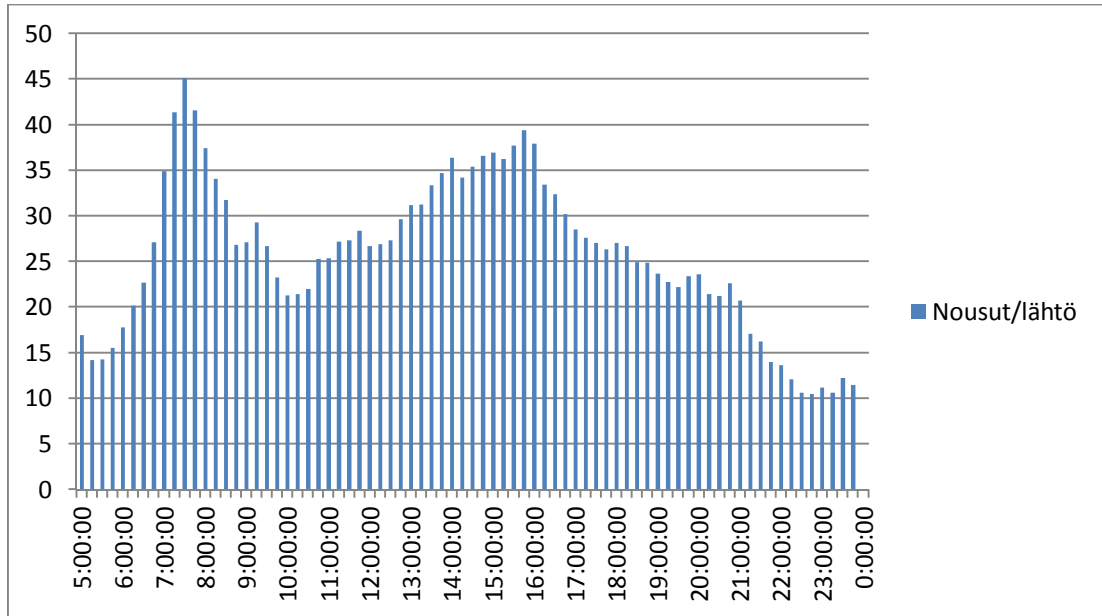
HSL:n linjojen kuormituksesta ei ole saatavilla tarkkaa tietoa. Matkakorttijärjestelmän kautta kerätään tietoa ajoneuvoon nousevista matkustajista, jolloin tieto nousijoiden määrästä saadaan pysäkkikohtaisesti. Järjestelmästä ei saada tietoa siitä, missä matkustajat jäävät pois kyydistä, joten myöskään keskimääräistä matkustajamäärää tai kuormitusta ei ole suoraan saatavilla. Nousijamäärät antavat kuitenkin hyvän käsityksen joukkoliikenteen kysynnän vaihtelusta ja joillakin linjoilla ne kuvaavat hyvin myös matkustajamääriä.

Nousijamäärä kuvaa kuitenkin joukkoliikenteen kysyntäpiikkiä paremmin kuin vuorotarjonnan suuruus. Nousijamäärä on ruuhkahuipun aikana yli kolminkertainen keskipäivään verrattuna kun taas ruuhkahuipun vuorotarjonta on hieman alle kaksinkertainen keskipäivän tarjontaan verrattuna.



Kuva 13: Arkipäivän keskimääräiset nousut marraskuussa 2010 HSL:n linjoilla

Aamuruuhkan kysyntäpiikin terävyys aiheuttaa sen, että lisätystä vuoromäärästä huolimatta vuorojen keskimääräinen täyttöaste on huomattavasti korkeampi kuin iltapäiväruuhkassa. Keskimääräinen täyttöaste on matalimmillaan varhaisen aamun ja myöhäisen illan aikana (Kuva 14).



Kuva 14: Arkipäivän keskimääräinen nousujen määrä lähtöä kohden marraskuussa 2010 HSL:n linjoilla

Varhaisaamun ja myöhäisillan alhaiset keskimääräiset nousijamäärät lähtöä kohden osoittavat myös mihin vuorokaudenaikoihin hiljaiset vuorot painottuvat. Hiljaisten vuorojen jakautumista käsitellään tarkemmin kappaleessa 6.1.

3.7. Liikennöinnin suunnittelu

Linjojen liikennöintiä suunnitellaan jo linjastosuunnitteluvaiheessa laatimalla linjan reitti siten, että sen liikennöinti olisi kalustonkäytön kannalta tehokasta. HSL:n aikataulusuunnittelussa ajoneuvoille laaditaan ajosarjat, joissa määritellään yksittäisten ajoneuvojen ajamat lähdöt linjoittain. Liikennettä tilattaessa HSL pyytää tarjousta antamiensa autokiertojen mukaiseen liikennöintiin, mutta liikennöitsijöillä

on kaluston laatuvaatimuksia koskevat sopimusehdot huomioiden mahdollisuus suunnitella liikennöinti eri tavalla. Liikennöitsijöiden on otettava liikennöintiä suunnitellessaan huomioon myös kuljettajien työ- ja ajoaikoja koskeva lainsäädäntö, sekä suunniteltava kuljettajien työvuorot ja kalustonkäyttö mahdollisimman taloudelliseksi. Liikennöitsijöillä on erilaisia periaatteita omien ajosarjojensa suunnitteluun. Osa liikennöitsijöistä pitää linjalla käytettävät autot samoina koko päivän ja vaihtaa kuljettajia pääteasemilla tai linjan varrella ja osalla taas kuljettaja ajaa koko päivän samalla autolla, jolloin kuljettajan pitäessä taukoa myös auto seisoo ja tauon jälkeen kuljettaja ja auto siirtyvät jollekin toiselle linjalle. Joissain tapauksissa HSL:n suunnittelemat ajosarjat ovat olleet sen verran väliä, että liikennöitsijällä, jolla on ollut runsaasti samalla alueella toimivaa liikennettä, on ollut mahdollisuus vähentää tarvittavien autojen määrää kierrättämällä autoja linjalta toiselle (Nykänen 2011).

3.8. Kaluston valinta

Joukkoliikenteen suunnitteluprosessissa kaluston valinta on yhteydessä linjan, aikataulun ja tuotannon suunnitteluun. Linjan kaluston valinnalla määritetään yksittäisten vuorojen kapasiteetti ja liikennöintikustannukset. Kustannusten säästämiseksi linjan kapasiteetti voidaan tuottaa pienemmällä määrällä suurempaa kalustoa jolloin liikennöintikustannukset jäävät alhaisemmiksi. Matkustajien näkökulmasta vuorovälin kasvu kuitenkin heikentää palvelutasoa pidempien vuorovälien takia. Näitä tekijöitä voidaan tasapainottaa laskentamallilla (Kaava 1), jolla pyritään löytämään optimaalinen ratkaisu näiden kahden intressin välille (Vuchic 2005).

Kaava 1: Kaluston optimaalisen kapasiteetin laskentakaava (Vuchic 2005)

$$C_{tu} = \frac{2P_{max}}{\alpha_{max}} \sqrt{\frac{L}{P_L * V_c} * \frac{c_o}{c_p}}$$

C_{tu} = Liikennevälineen kapasiteetti

P_{max} = Mitoitustunnin matkustajamäärä

α_{max} = Kuormitusaste

L = Linjan pituus

P_L = Nousijoiden määrä linjalla

V_c = Linjan ajonopeus

c_o = Liikennöintikustannukset

c_p = Matkustajan ajan arvo

3.8.1. Kaluston valinta pääkaupunkiseudulla

Helsingin seudun liikenteen tilaamassa liikenteessä käytettävään kalustoon vaikuttaa ennen kaikkea linjan kuormitusaste, palvelutasoluokka, sekä matkustuskysyntä. Kuormitusasteella tarkoitetaan linja-auton matkustajamäärän ja kokonaispaikkamäärän suhdetta. Kokonaispaikkamäärään lasketaan mukaan seisoma- ja istumapaikat. Pääkaupunkiseudulla yleisintä bussityyppiä, 13-metriä pitkä ja vähintään 42 istumapaikkaista, käytetään autotyyppinä useimmilla linjoilla. Linja-autoihin sallitaan ruuhka-aikaan enintään 100 % kuormitusaste ja ruuhka-ajan ulkopuolella 75 %. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ruuhka-aikana pyritään siihen, että kaikki matkustajat mahtuvat autoihin ja ruuhka-ajan ulkopuolella pyritään tarjoamaan kaikille istumapaikka. Matkustuskysynnän ollessa alhaista ja linjan kysyntään perustuvan vuorovälin noustessa yli 15 minuutin, pääsääntöisesti edellytetään käyttämään 12-metrin (A-tyyppi 12m) bussityyppiä. Vuorovälin ollessa alle 15 minuuttia käytetään 13-metrin bussia (A-tyyppi 13m) ja vuorovälin painuessa alle 10 minuutin, siirrytään käyttämään telibussia. Liikenteen tilaaja ei suoraan määrää linjalla käytettävää ajoneuvoa, vaan asettaa sille minimivaatimukset. Liikennöitsijä saa käyttää minimivaatimuksia suurempaa kalustoa, kunhan se vain täyttää muut ajoneuvoille asetetut vaatimukset.

Liikenteen kysynnän vaihteluun voidaan kalustovalinnan lisäksi vaikuttaa aikataulusuunnittelun periaatteilla. Aikataulusuunnittelulle voidaan katsoa olevan kaksi perusperiaatetta. Ensimmäinen on vakiovuoroväli, jolla pyritään tekemään aikataulusta matkustajan kannalta helposti muistettava tai vuorovälin ollessa riittävän tiheä matkustajan ei tarvitse huomioida aikataulua ollenkaan. Tässä menetelmässä linjan kapasiteettia voidaan kasvattaa käyttämällä suurempaa yksikkökokoja ruuhka-aikaan. Toinen menetelmä on linjan kuormituksen pitäminen vakiona, jolloin vuorojen lähtöajat suunnitellaan siten, että vuoroilla on saman verran matkustajia. Tässä menetelmässä kalustoa ei erikseen valita vuoroa varten vaan vuoron lähtöaika määräytyy kapasiteetin ja matkakysynnän mukaan. (Ceder 2008)

Kaupunkiliikenteen kalustonvalinnassa käytetään erilaista menetelmää kuin kaukoliikenteessä. Kaukoliikenteessä merkittävä osa liikenteen tuotoista tulee linja-autojen tavaratiloissa kuljetettavasta rahdista. Telibusseja käytetään kaukoliikenteessä enimmäkseen sellaisilla linjoilla, joilla suurien rahtimäärien takia tarvitaan suurempaa kantavuutta ja kaikista kuormitetuimmilla linjoilla istumapaikkamäärääkin saatetaan vähentää suuremman rahtitilan saamiseksi. (Saavola 2011)

4. Liikenteen kustannukset

Tilaaja-tuottajamallin mukaisessa käytännössä liikennöinnin kustannuksiin sisältyvät suorien liikennöintikustannuksien lisäksi liikennöitsijöiden yleiskustannukset sekä liikevoitto. Tilastokeskus seuraa linja-autojen liikennöintiin liittyvien kustannustekijöiden kehitystä ja ylläpitää linja-autoliikenteen kustannusindeksiä. Linja-autoliikenteen kustannusindeksi on kustannustekijöiden hintaindeksi, jonka tavoite on mitata kustannustekijöiden hinnanmuutosta liikennöitsijöiden perspektiivistä. Kustannusindeksin eri kustannustekijöille jaoteltu painorakenne perustuu linja-autoliiton jäsenyritysten ja liikennelaitosten tilinpäätöstietoihin. (Tilastokeskus 2011b).

Linja-autoliikenteen kustannusindeksissä liikenteen kustannukset on jaettu seuraaville tekijöille (Tilastokeskus 2011b):

- Palkat:
 - Linja-autonkuljettajien palkat
 - Hintaseurannassa työehtosopimusten mukaiset palkat, sekä kuljettajan palkattomaan taukoon ja työpäivän minimi- ja maksimipituuksiin liittyvät säännöt
- Välilliset palkat
 - Linja-autonkuljettajien vuosilomapalkat, lomarahat, palkalliset vapaapäivät, pekkaspäivät sekä sairausajan palkat ja sosiaalivakuutusmaksut
 - Hintaseurannassa palkkojen kehitys, sekä lakisääteisten sosiaalivakuutusmaksujen suuruudet
- Poltto- ja voiteluaineet
 - Poltto- ja voiteluaineiden kustannukset
 - Voiteluaineiden osuus poltto- ja voiteluaineiden kokonaiskustannuksista noin 2 % liikennetyypistä riippuen

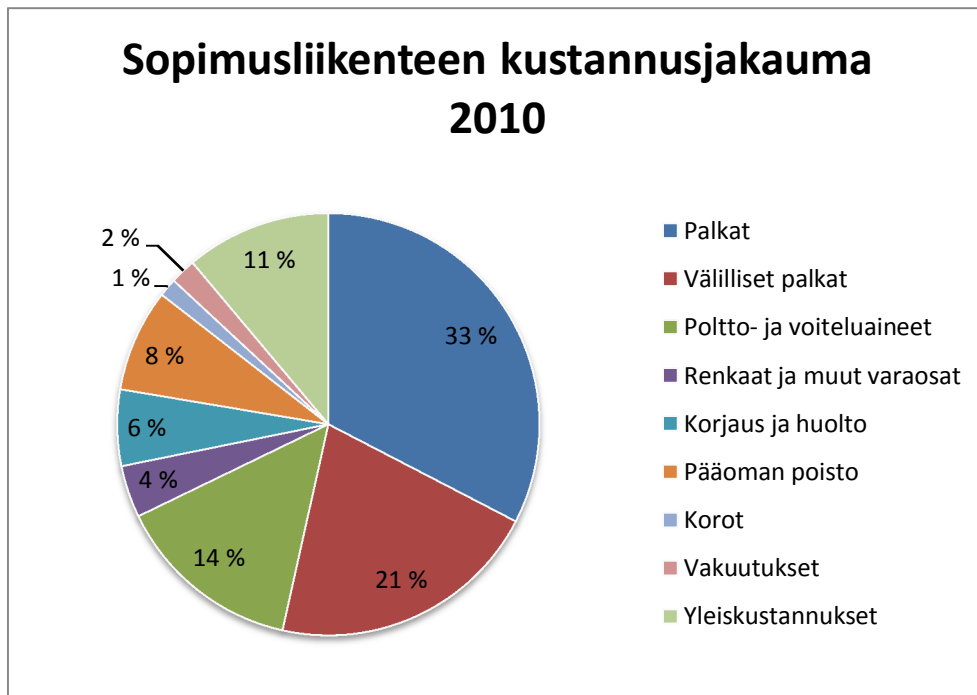
- Hintaseurannassa öljy-yhtiöiden kylmien asemien D-mittarihintaa
- Sopimusliikenteessä seurataan lisäksi maakaasun hintaa, jonka osuus kaikista liikennetyypin poltto- ja voiteluaineiden kustannuksista on noin seitsemän prosenttia
- Renkaat ja muut varaosat
 - Rengaskustannukset koostuvat uusien renkaiden hankinnasta ja vanhojen pinnoituksesta
 - Varaosakustannukset koostuvat alustan, korin ja sähköjärjestelmien varaosista
 - Rengaskustannuksia seurataan eri tyyppisten talvi- ja kesärenkaiden ja pinnoitteiden hintojen perusteella
 - Varaosakustannuksia seurataan varaosien hintojen perusteella
- Korjaus ja huolto
 - Korjaus- ja huoltokustannukset sisältävät oman korjaamotoiminnan ja ulkopuolelta ostetun korjaamopalvelun kustannukset
 - Oman korjaamotoiminnan kustannuksia seurataan huoltokorjaamoiden työehtosopimusten minimipalkkojen perusteella
 - Ulkopuolisen korjaamopalvelun hintoja seurataan kuluttajahintaindeksin asentajan palkalla ja raskaan kaluston huoltokorjauksen tuntiveloitushinnalla
- Pääoman poisto
 - Pääomanpoistot muodostuvat linja-autokaluston pääomamenoista
 - Hintaseurannassa eri valmistajien linja-autojen ohjehintoja
- Korot

- Pääoman korkokustannukset
- Hintaseurannassa Suomen rahalaitosten antamien uusien yrityslainojen keskikorko
- Vakuutukset
 - Vakuutuskustannukset muodostuvat liikennevakuutuksen ja autovakuutuksen maksuista
 - Liikennevakuutusten hintakehitystä seurataan vakuutusyhtiöiden maksutaulukoiden mukaisia perusmaksuja
 - Autovakuutusten hintakehitystä seurataan ammattimaiseen käyttöön tarkoitettujen linja-autojen laajakaskoa ilman bonusoikeutta pienimmällä mahdollisella omavastuulla
- Yleiskustannukset
 - Yleiskustannukset sisältävät johto- ja toimistohenkilöstön palkkakustannukset, toimitilojen vuokrat ja vastikkeet, rakennusten poistot, korkokulut muista kuin autoista ja henkilöautojen leasingvuokrat
 - Johto- ja toimistohenkilöstön palkkakustannusten kehitystä seurataan toimihenkilöiden palkkasopimuksen ja Helsingin bussiliikenteen hallinnon palkkojen perusteella
 - Muita yleiskustannuksia seurataan niitä hyvin kuvaavien kustannusindeksien perusteella

Kustannusindeksi sisältää linja-autoliikenteen kokonaisindeksin ja tarkemmin eri liikennetyyppejä kuvaavat indeksit. Vuoden 2011 kustannusindeksissä käytetty liikennetyyppijaottelu jakaa liikenteen sopimus-, kaupunki-, vakiovuoro-, pikavuoro- ja tilausliikenteeseen. Parhaiten pääkaupunkiseudun liikennettä näistä liikennetyypeistä kuvaa sopimusliikenne. Sopimusliikenteen kustannusindeksi

sisältää pääkaupunkiseudun, Turun ja Tampereen liikennettä. Kaupunkiliikenteen kustannusindeksi puolestaan kuvaa pienempien kaupunkien joukkoliikennettä. Tämä liikenne on lipputulorahoitteista ja liikennöitsijällä on suurempi vastuu liikenteen suunnittelusta kuin pääkaupunkiseudulla.

Suurimmat erot liikennetyyppien kustannusjakaumilla syntyvät liikennöinnin luonteesta. Kaupunkiliikenteessä päivittäinen ajosuorite suhteessa työtuntien määrään jää huomattavan paljon pienemmäksi kuin vakiovuoroliikenteessä. Tästä syystä vakiovuoroliikenteessä polttoainekustannusten osuus on 3,6 %-yksikköä suurempi kuin kaupunkiliikenteessä. Palkkakulujen osuus puolestaan on sopimusliikenteessä suurempi, koska keskimääräinen ajonopeus on pienempi ja työaika kuluu huomattavasti enemmän. Sopimusliikenteen korkeampiin palkkakustannuksiin vaikuttaa osaltaan myös se, että HSL:n tilaamassa liikenteessä toimivilla kuljettajilla on linja-autoalan työehtosopimuksen mukaisesti korkeampi minimipalkka kuin muussa liikenteessä. Pikavuoro-, sopimus- ja tilausliikenteen pääomakulut ovat muita suurempia, koska näissä liikennetyypeissä käytetään keski-ikältään nuorempia linja-autoja kuin muussa liikenteessä. Ajoneuvon hinnan merkitys linja-autoliikenteen kokonaiskustannuksille on kohtuullisen pieni. Pääomien poistojen osuus sopimusliikenteen kokonaiskustannuksista on vain 8% ja poltto- ja voiteluaineilla 14 %. Kalustoon sidonnaisten kustannustekijöiden pieni osuus liikenteen kokonaiskustannuksista tarkoittaa myös sitä, että hankintahinnaltaan edullisempien autojen käyttäminen liikenteessä ei tuottaisi merkittäviä säästöjä kokonaiskustannuksissa (Tilastokeskus 2011b).



Kuva 15: Sopimusliikenteen kustannusindeksi 2010 (Tilastokeskus 2011)

4.1. Linja-autoliikenteen yksikkökustannukset

Linja-autoliikenteen kustannusten laskenta suunnitteluvaiheessa perustuu kilpailutusmenettelyn mukaisen kustannusjaottelun ja jo käytössä olevalla kalustolla nykyisten sopimusten mukaisen liikenteen toteutuneisiin kustannuksiin. HSL julkaisee vuosittain joukkoliikenteen yksikkökustannusraportin, joka sisältää eri joukkoliikennevälineiden yksikkökustannusarvot. Julkaistut yksikkökustannusarvot ovat linja-autoliikenteen osalta keskiarvo toteutuneista kustannuksista. Arvot siis sisältävät liikennöitsijöiden saamat laatukannusteet, virheistä koituneet sanktiot, sekä liikevoiton. Keskimääräisten yksikkökustannusarvojen heikkouksia ovat todellisten liikennöintikustannusten riippuvaisuus linjan luonteesta, sen päätepisteiden sijainnista, sekä kilpailutilanteesta. Yksittäisten sopimusten hinnoissa saattaa olla suurta vaihtelua, koska tarjoukset ovat usein alihinnoiteltuja ja liikennöitsijöiden tarjoustavat vaihtelevat kohteittain ja markkinatilanteen mukaan. Yksikkökustannusraportissa on laskettu liikennöintikustannukset erikseen

Helsingin, Espoon ja Vantaan sisäiselle liikenteelle, sekä seutuliikenteelle. Kaikille näille on toteutunut hieman erisuuruiset yksikkökustannusarvot (Helsingin seudun liikenne 2010).

Taulukko 6: Linja-autoliikenteen toteutuneet yksikkökustannukset vuodelta 2009 (HSL 2010)

	Linjakilometri	Linjatunti	Autopäivä
Helsinki	0,63	31,44	141,34
Espoo	0,52	30,92	151,12
Vantaa	0,47	36,24	113,86
Seutu	0,60	31,26	144,83

Kustannusten jako eri kustannustekijöille ei ole täysin luotettava, koska liikennöitsijöiden kannalta oleellista on liikenteestä saatava kokonaiskorvaus ja liikennettä kilpailutettaessa huomioidaan tarjouspyynnön mukaisen liikenteen kustannukset tarjouksessa esitetyillä yksikköhinnoilla. Liikennöitsijät voivat myös muuttaa tarjoustensa hinnan painottamista eri hintakomponenteille sen mukaan onko linjalle odotettavissa liikenteen lisäystä tai vähennystä. Tilaajan pidentäessä linjan liikennöintiä, on liikennöitsijän kannalta edullista jos sopimuksen tunti- tai kilometrihintaa on korkeampi. Vastaavasti liikennettä vähennettäessä kustannusten jaottelu eri hintakomponenteille vaikuttaa siihen miten liikenteen vähennys vaikuttaa liikennöitsijälle jäävään tuottoon.

Liikennöintisopimuksissa ei erikseen eritellä hintoja 2- ja 3-akselisille autoille, tai ruuhkavuoron ja koko päivän ajaville autoille, eikä näiden kustannuseroja ole johdettavissa nykyisten liikennöintisopimusten hinnoista. Vaihdettaessa kalustoa 2-akselisesta 3-akseliseen kesken sopimuskauden, korotetaan liikennöintikorvausta vaihdettujen ajoneuvojen osalta kertoimella 1,14 ja vastaavasti vaihdettaessa 3-akselinen 2-akseliseen pienennetään korvausta kertoimella 0,9. Nämä kertoimet ovat olleet tyydyttävät niin tilaajalle kuin liikennöitsijöillekin, jolloin ne eivät liene merkittävästi liian suuret tai pienet (Kuukankorpi 2011, Helsingin seudun liikenne 2011e).

HSL:n liikennöintisopimusten mukaisessa kustannusjaottelussa puolet poltto- ja voiteluaineista on kohdennettu linjakilometrille ja puolet linjatunnille. Tämä hankaloittaa yksikkökustannuslaskelmien tekoa, koska tällä menetelmällä linjalle tarjottava tuntihinta on riippuvainen linjalla tunnin aikana kertyvästä ajosuoritteesta ja sille ominaisesta polttoaineenkulutuksesta.

Pienkaluston hinnoittelussa käytetään nykyisissä liikennöintisopimuksissa pelkkää tuntihintaa, tai tunti- ja päivähinnan yhdistelmää. Käytäntö on sopiva palvelulinjoille, joilla päivittäinen ajosuorite suhteessa liikennöinti-aikaan jää pieneksi. Arvioitaessa pienkaluston käytön kustannuksia tavallisessa linjaliikenteessä, ei tätä samaa menetelmää voida kuitenkaan käyttää. Käytettäessä pienkalustoa tavallisilla linjoilla, ajosuorite muodostuu pidemmäksi ja polttoaineen osuus kokonaiskustannuksista kasvaa. Tässä työssä käytetyt yksikkökustannusarvot pienkaluston käytölle linjaliikenteessä perustuvat tavallisten bussien liikennöintikustannusten, sopimusliikenteen kustannusindeksin ja ajoneuvotyyppistä saatavilla olevien tietojen perusteella tehtyihin laskelmiin.

4.2. Liikenteen päästökustannukset

Liikenteen päästökustannukset kuvaavat pakokaasujen paikallisesti, alueellisesti ja globaalisti aiheuttamia taloudellisia haittoja. Tärkein huomioon otettava tekijä on päästöjen aiheuttamat terveysvaikutukset, mutta kustannuksiin lasketaan myös metsien ja viljelysten tuoton vähenemisen, likaantumisen ja korroosion taloudellisia vaikutuksia. Liikenteen päästöjen kokonaiskustannukset voidaan kohdistaa eri liikennemuodoille, sekä laskea näiden suoritekohtaisia päästökustannuksia. Liikenteen päästökustannusten yksikköarvoilla voidaan laskea esimerkiksi liikenteen kehityksen, liikennejärjestelmän muutosten tai teknisen kehityksen vaikutuksia päästöjen aiheuttamiin kustannuksiin. Tieliikenteen pakokaasujen aiheuttamat haitat aiheutuvat pääosin typenoksidi-, hiukkas- hiilimonoksidi-, hiilivety-, sekä kasvihuonekaasupäästöistä (Tervonen 2010, Liikennevirasto 2010).

Suomessa tieliikenteen päästökustannusten yksikköarvot määritettiin liikennejärjestelmän yhteiskuntataloudellista vaikutustenarviointia varten vuonna 1999. Yksikkökustannukset määritettiin vaikutuspolkumenetelmällä, jonka vaiheet ovat:

- Päästöjen arviointi
- Pitoisuuksien arviointi
- Pitoisuuksien aiheuttamien vaikutusten arviointi
- Kustannusten arviointi

Alkuperäisiä liikenteen päästöjen yksikkökustannusarvoja on päivitetty vuonna 2002, mutta tässä yhteydessä ei ole käyty läpi koko vaikutuspolkua, vaan kustannuksia on päivitetty kustannusindekseillä. (Tervonen 2010, Liikennevirasto 2010).

Vuoden 2010 tieliikenteen ajokustannusten laskenta-ohjeen mukaiset päästöjen yksikköarvot on määritetty haitallisimmiksi katsotuille päästöille. Osalle yhdisteistä käytetään erillisiä yksikkökustannusarvoja taajaman sisällä ja haja-asutusalueilla syntyneille päästöille (Taulukko 7).

Taulukko 7 : Tieliikenteen päästökustannusten yksikköarvot (Liikennevirasto 2010)

Yhdiste	Yksikkö	Taajama	Haja-asutusalue	Keskimäärin
Typen oksidit (NO _x)	euroa/tonni	1280	501	846
Hiukkaset (PM _{2,5})	euroa/tonni	232 800	7 270	119 400
Hiilimonoksidi (CO)	euroa/tonni	28	0,8	18
Hiilivedyt	euroa/tonni	77	77	77
Hiilidioksidi (CO ₂)	euroa/tonni	37	37	37

Kansallisten liikennehankkeiden arviointimenettelyä varten määritettyjen päästökustannusten yksikkökustannusarvojen lisäksi Euroopan yhteisö on määritellyt direktiivissä puhtaiden ja energiatehokkaiden moottoriajoneuvojen

edistämisestä (2009/33/EY) yksikkökustannukset tieliikenteen päästöille (Taulukko 8).

Taulukko 8: Liikenteen päästöjen yksikköarvot. Direktiivi puhtaiden ja energiatehokkaiden moottoriajoneuvojen edistämisestä (2009/33/EY)

Päästölaji	Hinta	Yksikkö
Hiilidioksidi	0,03-0,04	euroa/kg
Typen oksidit	0,001	euroa/g
Ei-metaanihiilivedyt	0,001	euroa/g
Hiukkaset	0,087	euroa/g

Direktiivi velvoittaa hankintaviranomaiset ottamaan tieliikenteen ajoneuvoja ostaessaan huomioon ajoneuvon elinkaarenaikaiset energia- ja ympäristövaikutukset. Direktiivin tavoitteena on edistää puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen markkinoita sekä parantaa liikennealan myönteistä vaikutusta yhteisön ympäristö-, ilmasto- ja energiapolitiikkaan. Direktiivi antaa mahdollisuuden asettaa ajoneuvohankinnoille joko teknisiä vaatimuksia päästövaatimusten osalta tai huomioida hankintamenettelyssä ajoneuvojen elinkaaren aikana tuottamien päästöjen rahallinen arvo (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/33/EY).

Tässä työssä linja-autoliikenteen päästökustannusten laskennassa sovelletaan Euroopan yhteisön direktiivin mukaista laskutapaa, koska se on ajoneuvojen hankintaa laillisesti velvoittava, kun taas tieliikenteen yksikkökustannusten laskentamenetelmä on liikennejärjestelmän arviointia varten kehitetty työkalu, joka ei sinänsä velvoita mihinkään liikenteen hankinnassa. Linja-autojen päästökustannusten laskennassa näiden kahden eri hinnoittelun välille ei muodostu suurta eroa. Hiilidioksidipäästöjen arvo on samaa suuruusluokkaa molemmissa menetelmissä ja muiden päästölajien osalta toteutuvat massat jäävät alhaisiksi.

4.2.1. Linja-autojen päästökustannukset

Tässä työssä käytetyt linja-autojen päästöarvot pohjautuvat VTT:n mittaustuloksista koottuun linja-autojen päästötietokantaan (Taulukko 9). Kaksiakselisten linja-autojen päästöarvoina on käytetty EEV-päästötason täyttävien autojen keskimääräisiä päästöjä. Päästöarvot on mitattu vakio-olosuhteissa Braunschweigh-syklillä puolella kuormalla. Pienkaluston päästötietoina on käytetty Jouko-linjoilla käytettävien pikkubussien mittaustuloksia suhteutettuna Braunschweigh-syklin mukaiseen työmäärään. Modulaaribusseille käytettävät arvot on laskettu olettamalla päästöjen määrän kasvavan suoraan suhteessa polttoaineenkulutukseen. Polttoaineenkulutuksen suuruus modulaaribussille on arvioitu perävaunujen painon ja linja-autojen päästötietokannan mittaustulosten perusteella havaitusta ajoneuvon painon ja polttoaineenkulutuksen riippuvaisuussuhteesta (Laine 2011).

Taulukko 9: Laskennassa käytetyt päästöarvot (VTT 2011)

	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	PM g/km	CO2 g/km	Päästökustannusarvo € / km
2-akselinen EEV	0,90	0,02	6,03	0,071	1126	0,057
2-Akselinen Euro V	2,96	0,10	7,20	0,091	1184	0,063
Pienkalusto	0,05	0,02	2,73	0,01	464	0,022
Modulaaribussi pieni	0,08	0,03	4,28	0,02	728	0,035
Modulaaribussi iso	1,46	0,03	9,78	0,12	1826	0,093

5. Tutkimusmenetelmä

Tässä työssä tehdyissä tapaustudkimuksissa lasketaan vaihtoehtoisten kalustonkohdentamistapojen vaikutuksia liikenteen päästöihin ja kustannuksiin. Tutkimus suoritetaan neljässä vaiheessa:

1. Tapaustudkimuksissa käytettävien yksikkökustannusarvojen arviointi
2. Kalustotyyppien yksikköpäästöjen ja päästökustannusten arviointi
3. Vaihtoehtoisten kalustonkohdentamistapojen yleiset edellytykset
4. Säästöpotentiaalin arviointi yksittäisten linjojen tapauksissa

Vieraiden kalustotyyppien kustannusten arviointiin voidaan käyttää apuna liikenteen toteutuneita kustannuksia, linja-autoalan kustannusindeksiä ja ajoneuvotyypeistä saatavilla olevia tietoja. Toteutuneisiin kustannuksiin perustuvat yksikkökustannusarvot sisältävät myös laatukannusteet, liikennöitsijöiden virheistä seuranneet sanktiot sekä yritysten liikevoiton. Arvojen käyttö on kuitenkin perusteltua, koska tarkoitus on selvittää mitä liikenteen tuottaminen maksaisi tilaajalle. Laskelmissa ei kuitenkaan ole huomioitu infrastruktuurikustannuksia terminaalien ja pysäkkien osalta. Laskelmat eivät myöskään sisällä auton vaihdosta kesken liikennöinnin liikennöitsijälle koituvia kuluja.

Tässä työssä tehtävissä linja-autotyyppien välisissä vertailuissa päästö- ja polttoainekustannusten merkitys on suuri ja siitä syystä toteutuneiden liikennöintikustannusten perusteella lasketaan muokatut yksikkökustannusarvot, joissa koko polttoainekustannus on kohdennettu linjakilometrille ja päästökustannukset on lisätty linjakilometrin yksikkökustannuksiin. Päästökustannuksina on käytetty aiemmin työssä laskettuja arvoja (Taulukko 9). Kaksiakselisten linja-autojen oletetaan täyttävän EEV-päästötason.

Laskentaa hankaloittaa se, että eri sopimuksissa on käytetty erilaisia käytäntöjä kustannusten kohdentamisessa. HSL:n käytännön mukaisesti puolet polttoainekustannuksista on kohdennettu linjatunnille, mutta HSL:n tällä

periaatteella järjestämiä kilpailukierroksia on ollut vasta muutama. HSL:ttä edeltäneiden YTV:n ja Helsingin kaupungin liikennelaitoksen (HKL) aikana tehdyt liikennöintisopimukset muodostavat edelleen erittäin suuren osan voimassa olevista sopimuksista. HKL:n Helsingin sisäistä liikennettä koskevat sopimukset noudattivat samaa kustannusten kohdennusperiaatetta kuin HSL:n sopimukset kun taas YTV:n Espoon ja Vantaan sisäistä, sekä pääkaupunkiseudun välisten kuntien välistä seutuliikennettä koskevat sopimukset käyttivät jaottelua, jossa koko polttoainekustannus on kohdennettu linjakilometrille. (Anttila 2011).

Lähtöarvona vertailukelpoisten yksikkökustannusarvojen laskennassa on käytetty eri liikennöintialueiden linja-autoliikenteen toteutuneita yksikkökustannuksia. Yksikkökustannusarvojen laajemman käytettävyyden saavuttamiseksi työssä käytetään suoritteella painotettua keskiarvoa eri liikennöintialueiden yksikkökustannuksista (Taulukko 10).

Taulukko 10: Suoritteella painotettu yksikkökustannusten keskiarvo

Linjakilometri	0,59
Linjatunti	31,78
Autopäivä	141,4

Autopäiväkustannusten lähtötietoina on käytetty ajoneuvotyyppien hankintahintaa. Kaksiakselisen linja-auton hankintahintana on käytetty yleisesti aihealueen selvityksessä käytettyä arvoa. Täysikokoisten modulaaribussien ja pienkaluston hintatieto on peräisin valmistajalta. Pienten modulaaribussien on arvioitu olevan samassa suhteessa pikkubusseja kalliimpia kuin täysikokoiset modulaaribussit ovat tavallisia linja-autoja kalliimpia (Taulukko 11).

Taulukko 11: Ajoneuvotyyppien hankintahinnat

	Hankintahinta	Kustannuslähde
Kaksiakselinen linja-auto	250000€	Helsingin seudun liikenne 2011
Täysikokoinen modulaaribussi	650000€	Ojamo 2011
Kaksoisnivelbussi	530000€	Helsinginseudun liikenne 2011
Pikkubussi	105000€	Mäenpää 2011
Pieni modulaaribussi	273000€	Arvio täysikokoisen modulaaribussin hinnan perusteella

Yksikkökustannusten rakenteen muuntamiseen kustannusindeksin perusteella on tässä työssä käytetty keskimääräisen autopäivän kustannuksia keskimääräisillä yksikkökustannusarvoilla. Keskimääräiset linjakilometrien ja linjatuntien kertymät autopäivälle lasketaan HSL:n tilaaman liikenteen vuosittaisten suoritteiden kertymästä. Keskimääräisen autopäivän suorite on laskettu vuoden 2009 aikana korvattujen suoritteiden perusteella. Yhtä autopäivää kohden on maksettu 11,7 linjatuntia ja 254,5 linjakilometriä. Näitä suoritemääriä ja liikennöintialueiden keskimääräisiä yksikkökustannuksia käyttämällä saadaan laskettua keskimääräisen autopäivän kustannukset (Taulukko 12).

Taulukko 12: Keskimääräisen autopäivän kustannukset kaksiakselisella linja-autolla (Helsingin seudun liikenne 2010)

	Vuoden 2009 suoritteet	Suoritteet autopäivää kohden	Keskimääräinen hinta yksikköä kohden	Keskimääräisen autopäivän kustannukset €
Linjakilometri	88 060 000	254,5	0,59	150,15
Linjatunti	4 050 000	11,7	31,78	371,83
Autopäivä	346 000	1	141,4	141,4
			Yhteensä	663,38

Keskimääräisen autopäivän suoritteiden ja kustannusten jakauman perusteella kustannukset jaotellaan eri hintakomponenteille linja-autoliikenteen kustannusindeksin mukaisilla painoarvoilla (Taulukko 13). Lähtötietoina käytettävien vuoden 2009 toteutuneiden yksikkökustannusten jaottelussa

käytetään vastaavasti vuoden 2009 sopimusliikenteen kustannusindeksin painorakennetta.

Taulukko 13: Kaksiakselisen linja-auton kustannusten muodostuminen

	Painoarvo kustannus- indeksissä %	Osuus keskimääräisen autopäivän kustannuksista	Keskimääräinen suorite autopäivää kohden	Kustannus yksikköä kohden	
Linjakilometri	23,4	155,23	254,5 km	0,61	€/ km
Poltto- ja voiteluaineet	13,5	89,56		0,35	
Renkaat ja varaosat	3,8	25,21		0,10	
Korjaus ja huolto	6,1	40,47		0,16	
Linjatunti	54,9	364,20	11,7 h	31,11	€/ h
Palkat	33,2	220,24		18,83	
Välilliset palkat	21,6	143,95		12,28	
Autopäivä	21,9	145,28		145,28	€/ päivä
Pääoman poistot	9,7	64,35		64,35	
Korot	0,8	5,31		5,31	
Vakuutukset	1,3	8,62		8,62	
Yleiskustannukset	10,1	67,00		67,00	
Yhteensä	100	663,38			

Vieraiden ajoneuvotyyppien kustannusten arviointi perustuu kustannustekijöiden muutoksiin. Menetelmässä arvioidaan muuntokertoimet, joiden avulla kunkin kustannuslajin suuruus vertailuajoneuville arvioidaan (Taulukko 14).

Taulukko 14: Yksikkökustannusten arviointimenetelmä

	Painoarvo kustannus- indeksissä %	2-akselisen linja- auton kustannusjakauma	Kerroin	Vertailuajoneuvon kustannusjakauma	
Linjakilometri	23,4	0,61	–	–	€/ km
Poltto- ja voiteluaineet	13,5	0,35	p	0,35*p	
Renkaat ja varaosat	3,8	0,10	r	0,10*r	
Korjaus ja huolto	6,1	0,16	k	0,16*k	
Linjatunti	54,9	31,11	–	31,11	€/ h
Palkat	33,2	18,83	–	18,83	
Välilliset palkat	21,7	12,28	–	12,28	
Autopäivä	21,9	145,28	–	–	€/ päivä
Pääoman poistot	9,7	64,35	c	64,35*c	
Korot	0,8	5,31	k	5,31*k	
Vakuutukset	1,3	8,62	v	8,62v	
Yleiskustannukset	10,1	67,00	y	67,00*y	

Suurimman osan linjakilometrin hinnasta muodostaa polttoainekustannus, joka on myös voimakkaasti riippuvainen ajoneuvon tyypistä. Polttoainekustannusten suuruutta eri kalustotyypeille on arvioitu ajoneuvotyyppin polttoaineenkulutuksen perusteella. Modulaaribussien osalta polttoaineen kulutuksen arviointi perustuu tavallisilla linja-autoilla ja pikkubusseilla eri kuormilla tehtyjen mittausten perusteella saatuun arvioon polttoaineenkulutuksen kasvusta lisääntyneen massan myötä, sekä valmistajilta saatuihin tietoihin perävaunujen massasta.

Renkaiden ja varaosien ja korjaus- ja huoltokustannusten muutosta on arvioitu karkeasti ajoneuvotyyppien ominaisuuksien perusteella.

Taulukko 15: Polttoaineenkulujen arviointiin käytetyt polttoaineenkulutusarvot (VTT 2011)

Polttoaineenkulutus	kg/100km
2-akselinen bussi	36,2
pikkubussi	14,7
Iso modulaaribussi	58,7
Pieni modulaaribussi	19

Kaava 2: Polttoainekustannusten muuntokertoimen laskukaava

$$p = \frac{p_2}{p_1}$$

p_1 = Kaksiakselisen linja-auton polttoaineenkulutus

p_2 = Vertailuajoneuvon polttoaineenkulutus

Linjatunnin kustannukset muodostuvat palkoista ja välillisistä palkoista. Tässä työssä tehdyissä laskelmissa oletetaan kuljettajien palkan pysyvän samana riippumatta ajoneuvotyypistä. Eri kalustotyypeille ei siis tällä kustannusjaottelulla ole tarpeellista laskea eri tuntihintoja. Eri ajoneuvotyyppien erisuuruisten päästöjen huomioimiseksi tapaustutkimuksissa käytettyihin yksikkökustannuksiin on lisätty ajoneuvotyyppikohtaiset päästöjen yksikkökustannusarvot (Taulukko 9).

Autopäivän kustannuksista suurin osa koostuu pääoman poistoista ja yleiskustannuksista. Yleiskustannukset muodostavat autopäivän hinnasta jopa hieman auton pääomakustannuksia suuremman osuuden. Pääoman poiston suuruutta eri kalustotyypeillä on arvioitu laskemalla nettonykyarvomenetelmällä minimi vuosituotot kunkin kalustotyyppin hankintahinnan ja pitoajan perusteella ja vertaamalla näin saatua minimituottoa kaksiakselisen linja-auton minimituottoon (Kaava 3).

Kaava 3: Pääomakustannuksen muuntokertoimen laskukaava

$$C = \frac{\frac{-(1+r)^{i-1} * p_{h2} - p_{j2}}{\sum_{i=1}^{n_2} (1+r)^{i-1}}}{\frac{-(1+r)^{i-1} * p_{h1} - p_{j1}}{\sum_{i=1}^{n_1} (1+r)^{i-1}}}$$

C = Kaksiakselisen linja-auton päiväkohtainen pääomakustannus

r = laskennassa käytetty korko

n_1 = Kaksiakselisen linja-auton käyttöikä

n_2 = Vertailuajoneuvon käyttöikä

p_{h1} = Kaksiakselisen linja-auton hankintahinta

p_{h2} = Vertailuajoneuvon hankintahinta

p_{j1} = Kaksiakselisen linja-auton jälleenmyyntihinta

p_{j2} = Vertailuajoneuvon jälleenmyyntihinta

Pääomakustannusten korkona on kaikkia ajoneuvotyyppejä koskevissa laskelmissa käytetty arvoa 4 %. Ajoneuvotyyppien käyttöiksi on kaksiakselisilla linja-autoilla ja täysikokoisilla modulaaribusseilla arvioitu 14 vuotta ja pienkalustolla ja pienillä modulaaribusseilla 8 vuotta.

Korkojen osalta kertoimena käytetään samaa arvoa kuin auton pääomakustannuksilla. Vakuutusten ja yleiskustannusten muuntokertoimet ovat karkeita arvioita. Yleiskustannusten osalta on arvioitu lisääkö vai vähentääkö kalustotyyppin käyttö yleiskustannuksiin kuuluvia kuluja.

5.1. Pienkaluston yksikkökustannukset

Pienkaluston yksikkökustannusten arviointi perustuu ajoneuvotyyppistä saatavilla oleviin tietoihin, sekä kaksi-akselisten linja-autojen yksikkökustannusten jakautumiseen kustannustekijöille (Taulukko 16).

Taulukko 16: Pienkaluston yksikkökustannusten laskenta

	Painoarvo kustannus- indeksissä %	2-akselisen linja- auton kustannusjakauma	Kerroin	Pienkaluston kustannusjakauma	
Linjakilometri	23,4	0,61	–	0,27	€/ km
Poltto- ja voiteluaineet	13,5	0,35	0,41	0,14	
Renkaat ja varaosat	3,8	0,10	0,5	0,05	
Korjaus ja huolto	6,1	0,16	0,5	0,08	
Linjatunti	54,9	31,11	–	31,11	€/ h
Palkat	33,2	18,83	–	18,83	
Välilliset palkat	21,7	12,28	–	12,28	
Autopäivä	21,9	145,28	–	75,43	€/ päivä
Pääoman poistot	9,7	64,35	0,54	34,75	
Korot	0,8	5,31	0,54	2,87	
Vakuutukset	1,3	8,62	0,5	4,31	
Yleiskustannukset	10,1	67,00	0,5	33,5	

Poltto- ja voiteluainekustannusten muuntokerroin on laskettu kaksi-akselisten linja-autojen ja pikkubussien mitattujen polttoaineenkulutusten perusteella (Taulukko 15). Pienkaluston renkaiden ja varaosien, sekä korjauksen ja huollon kustannusten on arvioitu olevan puolet kaksiakselisen linja-auton kustannuksista.

Koron osuuden autopäivän hinnasta on arveltu muuttuvan samassa suhteessa pääoman poistojen kanssa. Pienkaluston vakuutusten hinnaksi on arvioitu 50 % kaksiakselisten linja-autojen vakuutusten hinnasta. Yleiskustannuksia kohdennetaan pikkubussien autopäivähintaan puolet kaksiakselisen linja-auton yleiskustannuksista.

5.2. Modulaaribussien yksikkökustannukset

Modulaaribussin yksikkökustannusarvot lasketaan sekä täysikokoiselle (Taulukko 17), että pienelle vetoauton ja perävaunun yhdistelmälle (Taulukko 18). Modulaaribusseille erikseen lasketut linjakilometrihinnat sisältävät perävaunun kulut. Silloin kun modulaaribussilla voidaan liikennöidä ilman perävaunua, oletetaan linjakilometrikustannusten vastaavan kokoluokan tavallisen kaksiakselisen linja-auton kustannuksia.

Taulukko 17: Täysikokoisen modulaaribussin yksikkökustannusten laskenta

	2-akselisen linja-auton kustannusjakauma	Kerroin	Pienkaluston kustannusjakauma	
Linjakilometri	0,61	–	0,96	€/ km
Poltto- ja voiteluaineet	0,35	1,62	0,57	
Renkaat ja varaosat	0,10	1,5	0,15	
Korjaus ja huolto	0,16	1,5	0,24	
Linjatunti	31,11	–	31,11	€/ h
Palkat	18,83	–	18,83	
Välilliset palkat	12,28	–	12,28	
Autopäivä	145,28	–	294,54	€/ päivä
Pääoman poistot	64,35	2,6	167,30	
Korot	5,31	2,6	13,8	
Vakuutukset	8,62	1,5	12,94	
Yleiskustannukset	67,00	1,5	100,5	

Kilometrikustannusten suuruus on arvioitu eri kustannustekijöiden muutoksen perusteella. Rengaskulujen arvioidaan perävaunua käytettäessä kasvavan 50 %. Perävaunun rengaskustannukset ovat kaksiakselisen linja-auton rengaskuihin verrattuna huomattavasti pienemmät perävaunun pienemmän massan sekä sen takia, että perävaunun akseleilla ei ole vetoa, eikä niihin siten kohdistu yhtä suuria voimia. Korjaus ja huoltokustannusten arvioidaan olevan modulaaribussilla perävaunun kanssa ajettaessa 50 % tavallista linja-autoa korkeammat. Perävaunun yksinkertaisemman rakenteen ja voimalinjan puuttumisen vuoksi korjauskulut eivät nouse suoraan suhteessa kapasiteetin kasvun kanssa.

Taulukko 18: Pienen modulaaribussin yksikkökustannusten laskenta

	Pienkaluston kustannusjakauma	Kerroin	Pienen modulaaribussin kustannusjakauma	
Linjakilometri	0,29	–	0,37	
Poltto- ja voiteluaineet	0,14	1,29	0,18	€/ km
Renkaat ja varaosat	0,05	1,5	0,15	
Korjaus ja huolto	0,08	1,5	0,12	
Linjatunti	31,11	–	31,11	
Palkat	18,83	–	18,83	€/ h
Välilliset palkat	12,28	–	12,28	
Autopäivä	75,43	–	166,55	
Pääoman poistot	34,75	2,92	101,46	€/ päivä
Korot	2,87	2,92	8,37	
Vakuutukset	4,31	1,5	6,47	
Yleiskustannukset	33,5	1,5	50,25	

Täysikokoisen perävaunun autopäiväkustannuksen laskenta perustuu samoihin menetelmiin kuin pienkalustollakin. Korkomenojen osuuden arvioidaan kasvavan samassa suhteessa pääomakulujen kanssa. Vakuutus- ja yleiskustannusten arvioidaan olevan 50 % vetoauton kustannuksista.

Kaksoisnivelbusseista ei ollut tätä työtä tehtäessä saatavilla riittävästi tietoja yksikkö- ja päästökustannusten laskemiseksi työssä käytetyllä menetelmällä. Tämän vuoksi yksikkökustannuslähteenä käytetään Johdinautoliikenteen hankeselvitystä (Helsingin seudun liikenne 2011). Kaksoisnivelbussin ja modulaaribussin välisissä vertailulaskelmissa käytetään yksikkökustannusarvoja, jotka eivät sisällä päästökustannuksia (Taulukko 19).

Taulukko 19: Kaksoisnivelbussin ja modulaaribussin vertailuun käytetyt yksikkökustannusarvot

	Linjakilometri	Linjatunti	Autopäivä
Modulaaribussi (ilman vaunua / vaunun kanssa)	0,61 / 0,96	31,11	294,54
Kaksoisnivelbussi	0,87	31,11	232,08

6. Tarkemman kaluston kohdentamisen mahdollisuudet

Tässä työssä tutkitaan mahdollisuuksia vähentää liikenteen kustannuksia ja päästöjä optimoimalla kaluston käyttö tarkemmin suhteessa liikenteen kysyntään. Kaluston optimoinnin ongelma on ruuhkan kysyntähuippuun vastaaminen. Vuorotarjonnan tiivistäminen ruuhka-aikaan johtaa siihen, että ruuhka-ajan ulkopuolella on runsaasti tarpeetonta kapasiteettia. Vähennetystä vuoromäärästä huolimatta ruuhka-aikojen ulkopuolella on paljon vuoroja, joilla kuormitusaste jää kaksiakseliselle linja-autolle vaatimattomaksi. Toisaalta ruuhka ulkopuolisen vuorotarjonnan karsiminen johtaisi siihen, että entistä suurempi määrä linja-autoja olisi käytössä vain ruuhkahuipun aikana ja sitä kautta pääomakustannusten osuus liikenteen kokonaiskustannuksista nousisi.

Tutkittavia tapoja kalustonkäytön tehostamiseksi ovat modulaaribussien käyttö ruuhkahuippujen tasoittamiseksi, modulaaribussien käyttö linjan epätasaisen kuormituksen tasoittamiseksi ja kaksiakselisten linja-autojen korvaaminen pienkalustolla hiljaisen ajan liikenteessä.

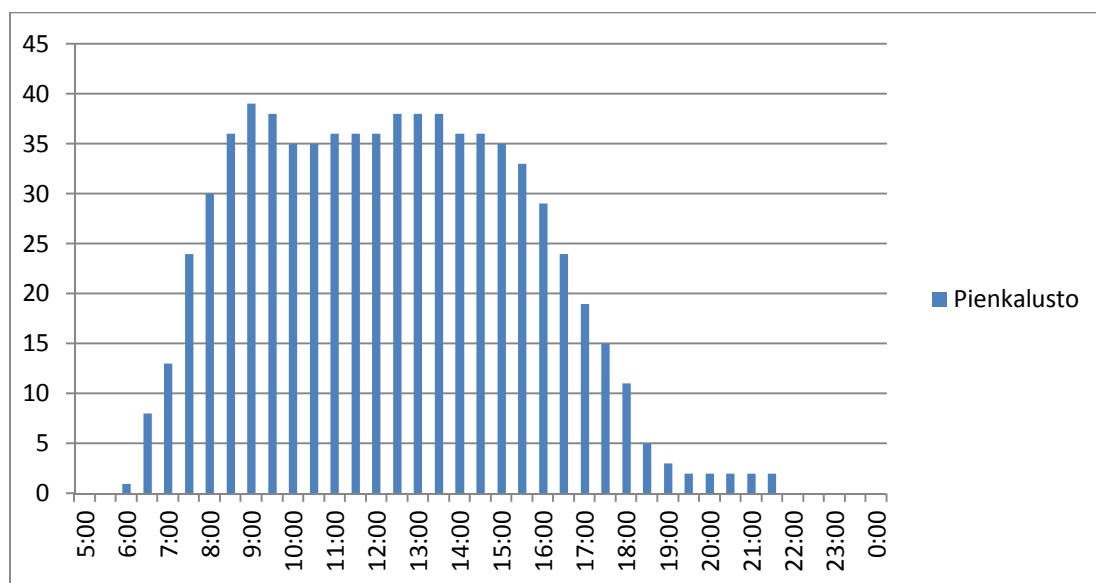
6.1. Kaksiakselisten linja-autojen korvaaminen pienkalustolla

Kaksiakselisten linja-autojen korvaaminen pienkalustolla edellyttää korvattavilta vuoroilta riittävän pientä matkustajamäärää. Nykyisen pienkaluston mini-b-tyyppin autojen vähimmäisistumapaikkamäärä on 16. Tässä työssä käsiteltävien pikkubussien kapasiteetti on 20 matkustajaa ja rajana pienkalustolla korvattavalle vuorolle käytetään korkeintaan viittätoista nousijaa lähtöä kohden. Pienkaluston käyttöä rajoittaa paikkamäärän pienuuden lisäksi sen joustamattomuus kun seisomapaikkoja ei sallita.

Kaksiakselisten linja-autojen korvaamiseen pienkalustolla on kaksi eri mahdollisuutta. Edullisin ja sitä kautta myös suurimmat säästöt tuottava ratkaisu on

käyttää palvelulinjoilla käytettäviä pikkubusseja hiljaisilla vuoroilla silloin kun niitä ei palvelulinjoilla tarvita. Toinen tapa on hankkia erikseen ylimääräisiä pikkubusseja hiljaisen ajan liikennettä varten.

Syksyn 2011 aikataulujen mukaisissa HSL:n ajosarjoissa on laadittu ajosarjat yhteensä 45 pikkubussille. Pienkaluston käyttö jakautuu päivälle tasaisesti, liikennöintiajan ulottuessa useimmilla linjoilla vain aamukahdeksasta iltapäivään (Kuva 16).



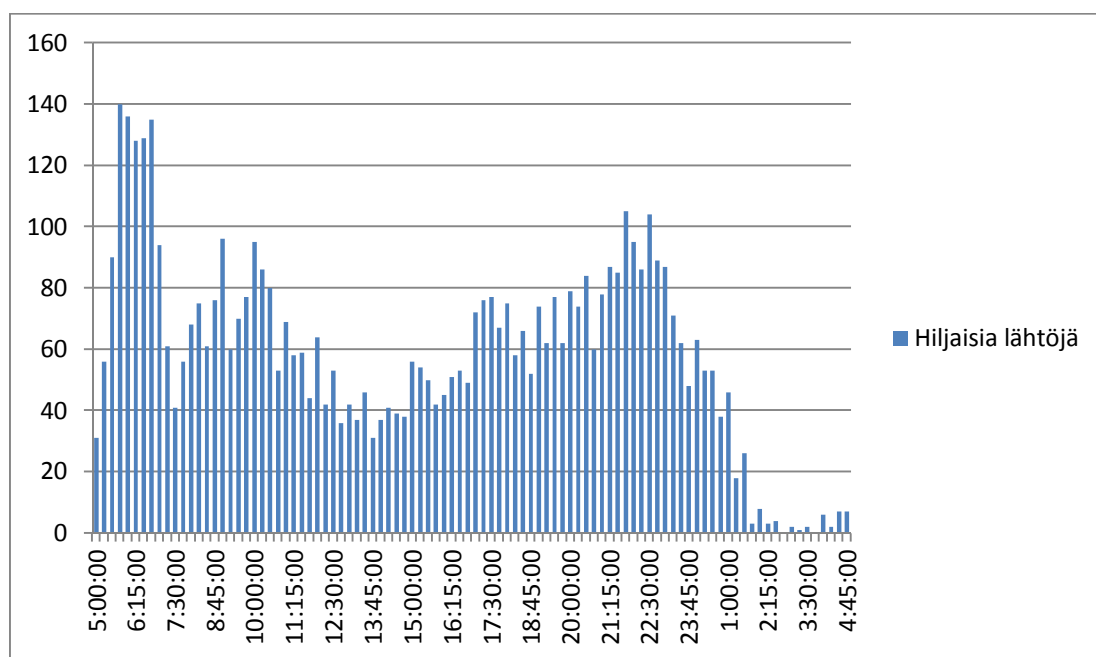
Kuva 16: Pienkaluston käyttö syksyn 2011 aikataulujen mukaisissa ajosarjoissa

Hiljaisia, alle viidentoista nousijan lähtöjä on arkipäivinä läpi liikennöintiajan. Hiljaisten vuorojen määrä on korkeimmillaan varhaisaamun 05.00–07.00 välisenä aikana, sekä illalla 20.00–24.00 välisenä aikana (Kuva 17). Kaiken kaikkiaan hiljaisia lähtöjä on 29 % kaikista HSL:n tilaamista vuoroista palveluliikenne poisluettuna. Vuoromäärän perusteella korvattavia lähtöjä siis olisi runsaasti. Käytännössä vain osa näistä vuoroista on mahdollista korvata pienkalustolla. Ruuhka-aikaan sijoittuvat hiljaiset lähdöt ovat ruuhkasuunnan vastaisia vuoroja, jotka on ajettava samalla autolla jolla jatketaan taas ruuhkansuuntaisella vuorolla. Linjoilla joilla liikenne on ruuhka-aikaan voimakkaimmin yksisuuntaista, ajetaan autot yleensä siirtoajona vuoron aloituspysäkillä linja-autovarikolta tai linjan pääteasemalta.

Nämä siirtoajona ajetut osuudet ajosuoritteesta eivät näy tässä työssä käytetyissä tilastoissa.

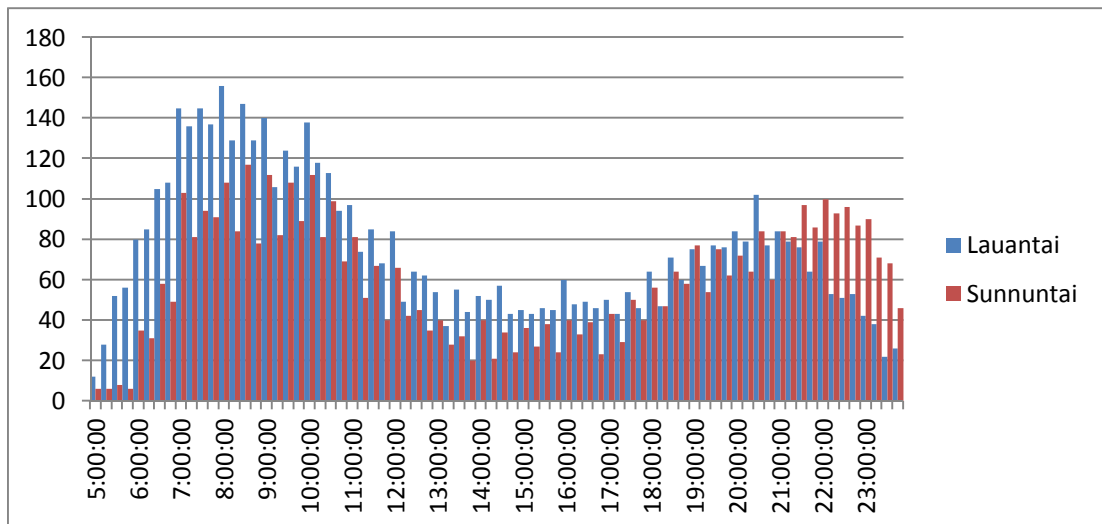
Vertaamalla olemassa olevan pienkaluston liikennöintiaikaa ja hiljaisten vuorojen jakautumista nähdään, että suurin määrä hiljaisia vuoroja on juuri niinä aikoina, jolloin pienkalustoa ei käytetä. Nykyisen pienkaluston avulla voitaisiin siis ajaa varhaisaamun ensimmäisiä lähtöjä sekä illan liikennettä.

Olemassa olevan pienkaluston käyttöä koskevissa laskelmissa lasketaan liikennöintikustannuksiksi ainoastaan linjakilometreistä ja -tunneista aiheutuvat kustannukset. Nykyisen pienkaluston autopäiväkustannuksiin kuuluvat tekijät on jo katettu palvelulinjaliikenteellä.



Kuva 17: Hiljaisten lähtöjen jakautuminen arkipäivinä

Viikonloppuisin nykyisen pienkaluston käyttö hiljaisilla linjoilla onnistuisi helpommin kuin arkipäivinä. Hiljaisten lähtöjen määrä on viikonloppuisin jonkin verran arkipäiviä suurempi ja joillakin linjoilla pienkalustolla voisi hoitaa koko viikonlopun liikenteen (Kuva 18).



Kuva 18: Hiljaisten lähtöjen jakautuminen viikonloppuisin

Erillisen pienkaluston hankkiminen hiljaisten aikojen vuoroille on huomattavan paljon kalliimpaa kuin nykyisen kaluston käyttö. Taloudellisten edellytysten täyttymiseksi korvattavia lähtöjä pitäisi olla riittävä määrä, jotta pienemmät liikennöintikustannukset riittäisivät kattamaan auton hankinnasta aiheutuvat ylimääräiset pääoma-, ylläpito- ja yleiskustannukset. Tässä työssä lasketuilla yksikkökustannuksilla päällekkäisen kaluston hankinnan kannattavuusraja saadaan laskettua jakamalla pienkaluston autopäivähinta kaksiakselisen linja-auton ja pienkaluston kilometrihinnan erotuksella (Taulukko 20). Pienkaluston pienempien päästöjen huomioimiseksi ajoneuvojen päästökustannusarvot on laskettu mukaan linjakilometrin yksikkökustannusarvoihin.

Taulukko 20: Pienkaluston hankinnan kannattavuusraja

Pienkaluston autopäiväkustannus	75,42€
Linjakilometrikustannusten erotus	0,38 €/km
Erillisen pienkaluston hankinnan kannattavuusraja	195,5 km

6.2. Modulaaribussien käyttö

Modulaaribussit tarjoavat tavallista linja-autoa suuremman kapasiteetin ja mahdollistavat ajoneuvon kapasiteetin muuttamisen liikenteen kysynnän mukaan käyttämällä perävaunua silloin kun se on tarpeen. Tässä työssä tutkitaan seuraavia tapoja käyttää modulaaribussia:

1. Täysikokoisen modulaaribussin käyttö linjoilla, joilla on kova kuormitus ja joilla riittävän kapasiteetin tuottamiseksi on vuoroväli nostettu palvelutasovaatimuksia tiheämmäksi.
2. Kaksiakselisen linja-auton korvaaminen pienellä modulaaribussilla, sellaisilla linjoilla, joilla ruuhkan aikana tarvitaan täysikokoisen bussin kapasiteettia, mutta ruuhkan ulkopuolella riittäisi pikkubussikin.
3. Modulaaribussin käyttäminen tasaamaan linjan epätasaista kuormitusta siten, että perävaunua käytettäisiin vain linjan kuormittuneimmilla osuuksilla.
4. Modulaaribussin ja kaksoisnivelbussin vertailu.

Täysikokoisten modulaaribussien käytöstä aiheutuva säästö syntyy ruuhkavuoroilla käytettävien ylimääräisten autojen vähenemisestä. Säästö on merkittävä silloin kun modulaaribussilla voidaan korvata kaksi tavallisella linja-autolla ajettua vuoroa ja linjan pituus on riittävän pitkä. Säästö muodostuu linjatuntien vähenemisestä kun käytetään vain yhtä ajoneuvoa, sekä kahden tavallisen linja-auton ja modulaaribussin linjakilometrikustannusten erotuksesta. Modulaaribussin kahta kaksiakselista linja-autoa korkeampi autopäivän hinta vähentää lopullisen säästön suuruutta (Taulukko 21). Säästön lopullinen suuruus on riippuvainen linjalla ajettavista kilometreistä, linjan ajoajasta, sekä korvattavien vuorojen määrästä. Modulaaribussin suurin etu vastaavan kapasiteetin omaavan tuplanivelbussin käyttöön verrattuna on mahdollisuus säästää kapasiteettia kysynnän mukaan. Hiljaisempina aikoina perävaunu voidaan jättää linjan päätepisteeseen ja näin saavuttaa lisää kustannussäästöä pienemmän linjakilometrikustannuksen kautta.

Taulukko 21: Kustannussäästöjen muodostuminen korvattaessa kaksi linja-autoa modulaaribussilla

	Kahden 2-akselisen linja-auton kustannukset	Täysikokoisen modulaaribussin kustannukset	Kustannussäästö
Autopäivä €	290,56	294,54	-3,98
Linjatunti €/tunti	62,22	31,11	31,11
Linjakilometri €/km	1,34	1,05	0,29

Kaksiakselisen linja-auton korvaamisesta pienellä modulaaribussilla aiheutuvat kustannussäästöt muodostuvat pienen modulaaribussin tavallista linja-autoa pienemmistä linjakilometrikustannuksista. Linjatunnin kustannus on sama kuin kaksiakselisella linja-autolla ja linjakilometrin hinta vaihtelee vuoroilla sen mukaan onko perävaunu käytössä. Edullisemmalla liikennöintikustannuksella on kuitenkin katettava pienen modulaaribussin kaksiakselista bussia korkeampi autopäivän hinta (Taulukko 22). Lopullinen säästö riippuu linjalla ajettavien kilometrien ja perävaunullisten vuorojen määrästä.

Taulukko 22: Kustannussäästöjen muodostuminen korvattaessa kaksiakselinen linja-auto pienellä modulaaribussilla

	Kaksiakselisen linja-auton kustannukset	Pienen modulaaribussin kustannukset	Kustannussäästö
Autopäivä €	145,28	166,55	-21,27
Linjatunti €/tunti	31,11	31,11	0
Linjakilometri perävaunun kanssa €/km	0,67	0,41	0,26
Linjakilometri ilman perävaunua €/km	0,67	0,29	0,38

Modulaaribussilla operoitavan linjan epätasaisen kuormitusprofiilin tasoittamiseksi osalla matkaa käytettävällä modulaaribussilla voidaan saada aikaan kustannussäästöjä. Modulaaribussin perävaunun irrottamisen ja kytkemisen kannattavuus riippuu linjan kevyesti kuormitetun osion pituudesta, sekä perävaunun kytkentään ja pysäköintiin kuluva ajasta. Kustannussäästö

jätettäessä perävaunu kesken linjan on täysikokoisella modulaaribussilla 0,38€ (Taulukko 23) ja pienellä 0,12€ (Taulukko 24) ilman perävaunua ajettua kilometriä kohden.

Taulukko 23: Täysikokoisen modulaaribussin katkaisun kannattavuus

Kytkentään kuluva aika	Linjan perävaunuttoman osuuden minimipituus	Vuorokohtainen säästö kun perävaunun osuus 10 km
2 minuuttia	2,7 km	2,77€
3 minuuttia	4,1 km	2,24€
5 minuuttia	6,8 km	1,21€

Taulukko 24: Pienikokoisen modulaaribussin katkaisun kannattavuus

Kytkentään kuluva aika	Linjan perävaunuttoman osuuden minimipituus	Vuorokohtainen säästö kun perävaunun osuus 10 km
2 minuuttia	8,6 km	0,17€
3 minuuttia	13,0 km	-0,36€
5 minuuttia	21,6 km	-1,39€

Täysikokoisen modulaaribussin perävaunun käyttö vain osalla linjaa tuottaa pieniä säästöjä liikennöintikustannuksissa. Säästöt ovat kuitenkin hyvin pieniä, eivätkä ne sisällä perävaunujen pysäköintiin tarvittavan tilan järjestämisestä aiheutuvia kustannuksia. Ylimääräinen modulaaribussin kytkentään kuluva aika pidentäisi linjojen ajoaikoja ja aiheuttaisi matkustajille palvelun laatutason heikentymistä. Pienikokoisilla modulaaribusseilla linjakilometrin hinnassa saatava säästö jää niin pieneksi, ettei sen katkaisu kesken linjan ole taloudellisesti perusteltua.

Modulaaribussin ja kaksoisnivelbussin kapasiteetti on samaa suuruusluokkaa ja molempien käytöllä voidaan vähentää kalustotarvetta verrattuna tavallisiin linja-autoihin. Modulaaribussin etuna kaksoisnivelbussiin nähtynä on kapasiteetin muunneltavuus. Ruuhka-ajan ulkopuolisissa vuoroissa perävaunu voidaan jättää pois, jolloin myös liikennöintikustannukset pienenevät (Taulukko 25).

Taulukko 25: Modulaaribussin ja kaksoisnivelbussin kustannusvertailu

	Modulaaribussi (Ilman perävaunua / vaunun kanssa)	Kaksoisnivelbussi	2 x 2- akselinen linja-auto
Autopäivä €	294,54	232,08	290,56
Linjatunti €/tunti	31,11	31,11	62,22
Linjakilometri €/km	0,67 / 1,05	0,95	1,34

Vertailussa käy selvästi ilmi, että matkakysynnän noustessa korkeaksi suurempaan kalustoon siirtyminen on kannattavaa. Liikenteen kysynnän keskittyminen ruuhka-aikoihin vaikuttaa kuitenkin siten, että kysyntäpiikin lyhyiden aikojen takia suuren osan päivästä yhden kaksiakselisen bussin kapasiteetti on täysin riittävä. Modulaaribussin ja kaksoisnivelbussin vertailussa oleelliseksi muodostuu liikenteen kysyntäjakauman muoto. Modulaaribussin käyttö kaksoisnivelbussin sijasta on kannattavaa silloin kun ruuhka-ajan ulkopuolella ilman perävaunua ajettujen vuorojen pienemmät linjakilometrikustannukset riittävät kattamaan korkeamman autopäiväkustannuksen sekä perävaunun kanssa ajettujen vuorojen korkeamman kilometrikustannuksen.

Tässä työssä käytetyillä yksikkökustannusarvoilla laskettuna modulaaribussin korkeampi autopäiväkustannus on katettu vasta kun modulaaribussilla ajetaan 223 km ilman perävaunua. Tämän rajan täyttyä liikenne on kannattavaa hoitaa modulaaribusseilla silloin kun noin yksi neljästä vuorosta voidaan ajaa ilman perävaunua (Taulukko 26).

Taulukko 26 : Modulaaribussin kannattavuusrajoja kaksoisnivelbussiin verrattuna

Autopäiväkustannusten erotus	62,46
Ruuhka-ajan kilometrikustannusten erotus €/km	0,10 €/km
Ruuhka-ajan ulkopuolisten kilometrikustannusten erotus	-0,28 €/km
Autopäiväkustannusten erotuksen kattamiseen tarvittava määrä perävaunutonta ajoa	223 km
Perävaunuttomien kilometrien minimiosuus autopäiväkustannuksen kattamisen jälkeen	27%

Käytännössä modulaaribussin käytön kannattavuusrajat verrattuna kaksoisnivelbussiin muodostuvat varsin korkeiksi ja edellyttäisivät laajaa ruuhkan ulkopuolista liikennöintiäikää.

7. Esimerkkilaskelmia erityyppisistä kalustonkäyttötavoista

Työssä aiemmin tehtyjen yksikkökustannusarvioiden konkretisoimiseksi lasketaan muutamia esimerkkejä erilaisten kalustonkäyttötapojen kustannuksista. Esitettävät laskelmat suoritetaan jo käytössä olevan kaluston osalta keskimääräisillä yksikkökustannusarvoilla. Esimerkkilinjojen nykyiset todelliset kustannukset saattavat olla tässä työssä käytettyjä arvoja korkeampia tai matalampia.

Laskelmia varten valitut linjat on poimittu ominaisuuksiensa ja hiljaisten lähtöjen määrän perusteella. Laskelmissa käytetyt aikataulut ovat vuoden 2010 talviliikenteen mukaisia ja nousijamäärät on laskettu keskiarvona vuoden 2010 marraskuun nousijamääristä.

Jokeri-linjan osalta vertailua nykyisen kaluston käyttöön ei ole tehty, koska linjalla käytetään telibusseja, joiden liikennöintikustannukset ovat keskimääräisiä kustannuksia korkeampia. Jokeri-linjan kalusto on myös sidottu ainoastaan Jokeri-linjan käyttöön, joka vaikuttaa kaluston käytettävyyteen muussa liikenteessä ja toisaalta vara-autojen tarpeeseen. Päästöjen ja energiankulutuksen vertailua ei Jokeri-linjalle ole myöskään laskettu, koska laskelman tarkoituksena on tuoda esille kaksoisnivelbussin ja modulaaribussin eroja, eikä kaksoisnivelbussille ollut tätä työtä tehtäessä saatavilla vertailukelpoisia energiankulutus- ja päästöarvoja.

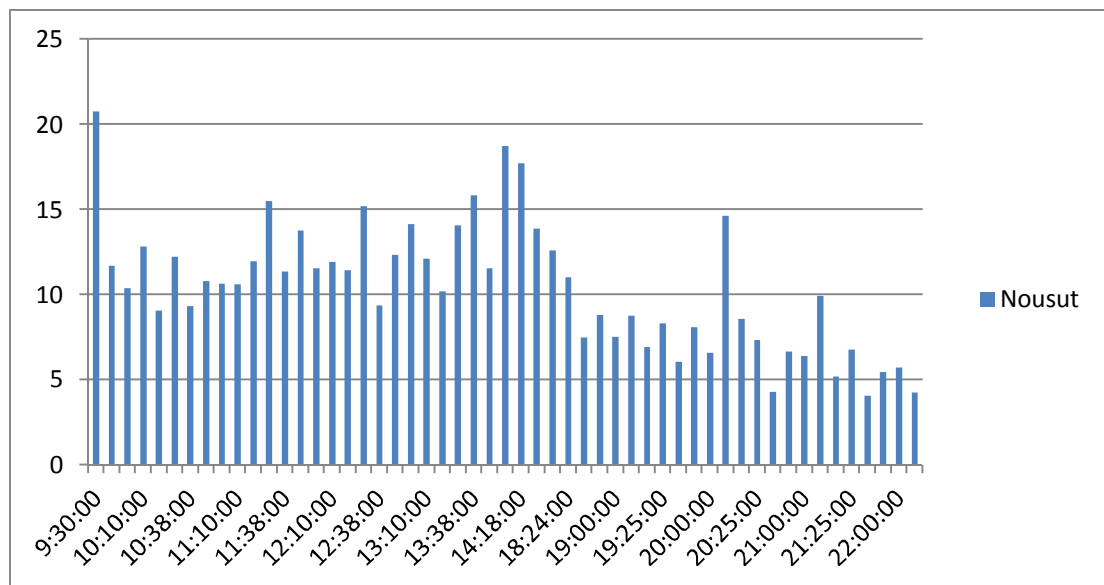
7.1. Kaksiakselisen linja-auton korvaaminen pienkalustolla

Helsingin sisäinen linja 53

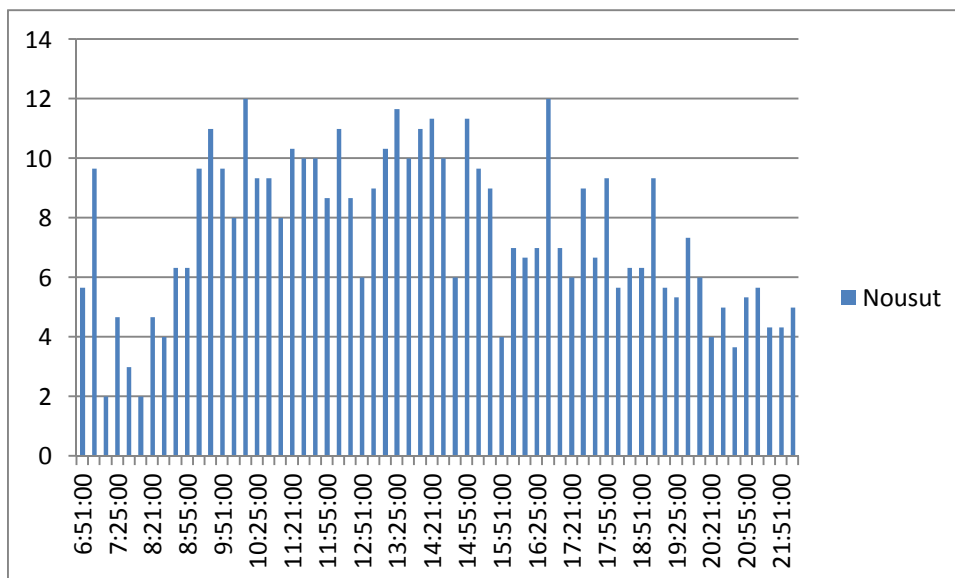
Ylimääräisen pikkubussin hankkiminen linjalle edellyttää riittävää määrää hiljaisia lähtiä kasvaneiden autopäiväkulujen kattamiseksi. Esimerkkilaskelma tämän tyyppisestä tilanteesta tehdään Helsingin sisäiseltä linjalta 53. Linja 53 liikennöi

ruuhka-aikojen ulkopuolella reitillä Merihaka–Töölö–Munkkiniemi. Ruuhka-aikoina samaa reittiä liikennöi linja 503, jolloin linjan toinen päätepiste on siirretty Munkkiniemestä Matinkylään. Linjan 53 kokonaispituus on 7,0 km ja sillä ajetaan arkivuorokauden aikana yhteensä 53 vuoroa, joiden kaikkien nousijamäärät ovat alhaisia. Suurimmalla osalla vuoroista nousijamäärä on alle 15 (Kuva 19).

Lauantaisin linjalla ajetaan yhteensä 62 vuoroa, joiden kaikkien nousijamäärät jäävät alle viidentoista (Kuva 20). Sunnuntaisin linjalla ei ole lainkaan liikennettä. Linjan liikennöintiin käytetään tällä hetkellä arkisin kolmea ja lauantaisin kahta kaksiakselistä linja-autoa. Koska linja on kaupungin halki kulkeva poikittaislinja, linjan matkustajat eivät yleensä matkusta linjalla päästä toiseen jolloin kaikki linjalle nousseet eivät ole kerralla ajoneuvossa ja voidaan katsoa, että pikkubussin kapasiteetti riittäisi tälle linjalle.



Kuva 19: Helsingin sisäisen linjan 53 keskimääräiset nousut



Kuva 20: Linjan 53 nousijamäärät lauantaisin

Arkivuorokauden kustannuslaskelmassa (Taulukko 27) ei tällä linjalla lasketa syntyvän säästöä 2-akselisten linja-autojen vähenemisen myötä, koska liikennöintisopimus kuuluu samaan kokonaisuuteen linjan 503 kanssa, eikä hiljaisten aikojen vuorojen korvaaminen pienkalustolla vähennä kokonaisautotarvetta ruuhka-aikoina linjalla 503.

Taulukko 27: Arkivuorokauden kustannuslaskelma

	2-akselinen linja-auto	Pikkubussi	Kustannussäästö
Autopäivä	0	226,26	-226,26
Linjakilometri	248,57	107,59	140,98
			-85,28

Taulukko 28: Lauantailiikenteen kustannuslaskelma

	2-akselinen linja-auto	Pikkubussi	Kustannussäästö
Autopäivä	290,56	150,84	139,72
Linjakilometri	290,78	125,86	164,92
			304,64

Lauantain kustannuslaskelmassa kaluston korvaamisesta voidaan katsoa syntyvän säästöä myös autopäiväkustannuksissa, koska linja 503 ei liikennöi lauantaisin, eikä ruuhka-aikana siten tarvita suurempaa kalustoa. Tästä syystä lauantain liikenteessä pienkaluston käytöllä saavutetaan merkittäviä säästöjä (Taulukko 28). Koko viikon liikenteen kustannuksissa ei tällä menetelmällä kuitenkaan saavutettaisi säästöjä, eikä erillisen pienkaluston hankkiminen pelkkää lauantailiikennettä varten ole mahdollista (Taulukko 29).

Taulukko 29: Viikon kustannuslaskelma

Arkipäivät	Lauantai	Yhteensä
-426,4€	304,64	-121,76

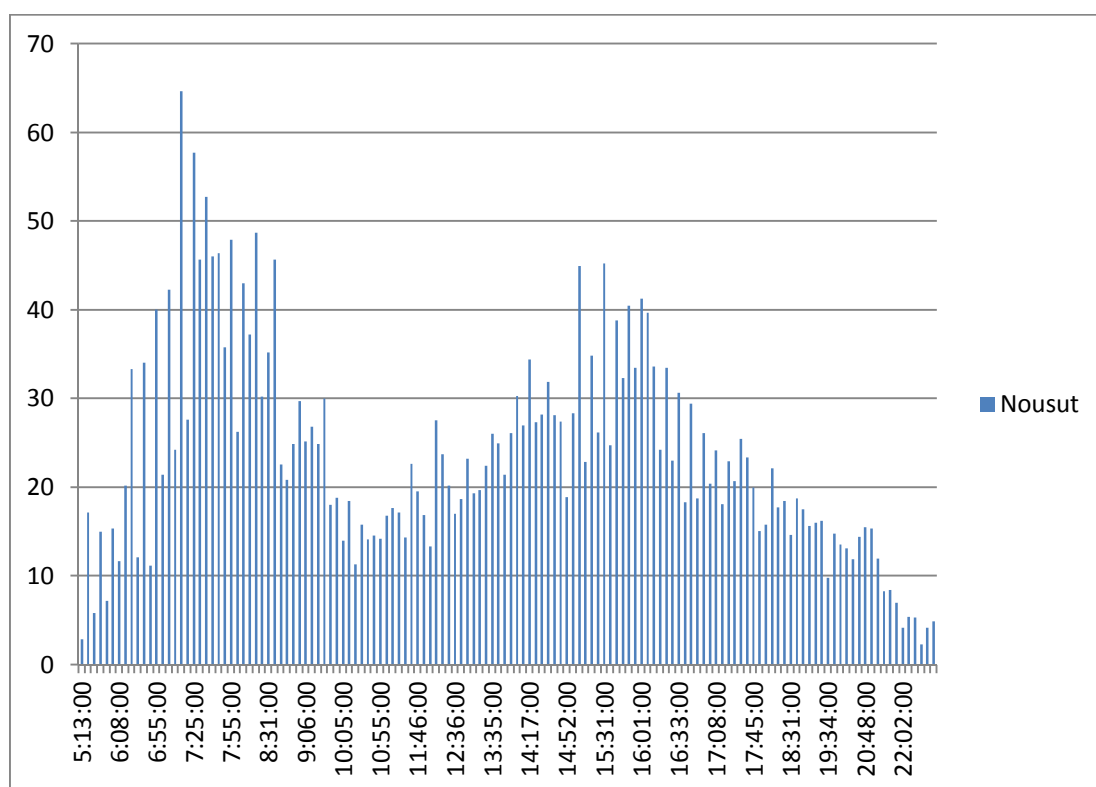
Pienemmän kaluston käytöllä saavutetaan pelkkien kustannushyötyjen lisäksi pienempi kokonaisenergian kulutus sekä pienemmät päästöt. Energian kulutuksessa saavutetaan tässä tapauksessa 59,3 % suuruinen säästö ja päästöjen vähenemissä päästötyypistä riippuen 0–94,4 % vähenemä (Taulukko 30).

Taulukko 30: Yhden viikon liikenteen energiankulutuksen ja päästöjen vertailu

	Energiankulutus MJ	CO g	HC g	NOx kg	PM g	CO2 kg
2-akselinen linja-auto	46851	2727,9	60,62	18,27	215	3413
Pikkubussi	19025	151,6	60,62	8,27	30	1406
Vähenemä %	59,3	94,4	0	54,7	85,9	58,8

Helsingin sisäinen linja 57

Helsingin sisäinen linja 57 on esikaupunkialueella reittiä Latokartano–Käpylä–Munkkivuori liikennöivä poikittaislinja, jonka reitin pituus on 13,3 km, kokonaismatka-aika noin 30 minuuttia ja liikennöintiäika arkipäivinä ulottuu varhaisaamusta myöhäisiltaan. Linjan nousijamäärät laskevat iltaruuhkan jälkeen tasaisesti ja klo. 17.47 lähtevästä vuorosta eteenpäin linjan kalusto olisi korvattavissa pienkalustolla (Kuva 21).



Kuva 21: Helsingin sisäisen linjan 57 keskimääräiset vuorokohtaiset nousijamäärät arkipäivinä

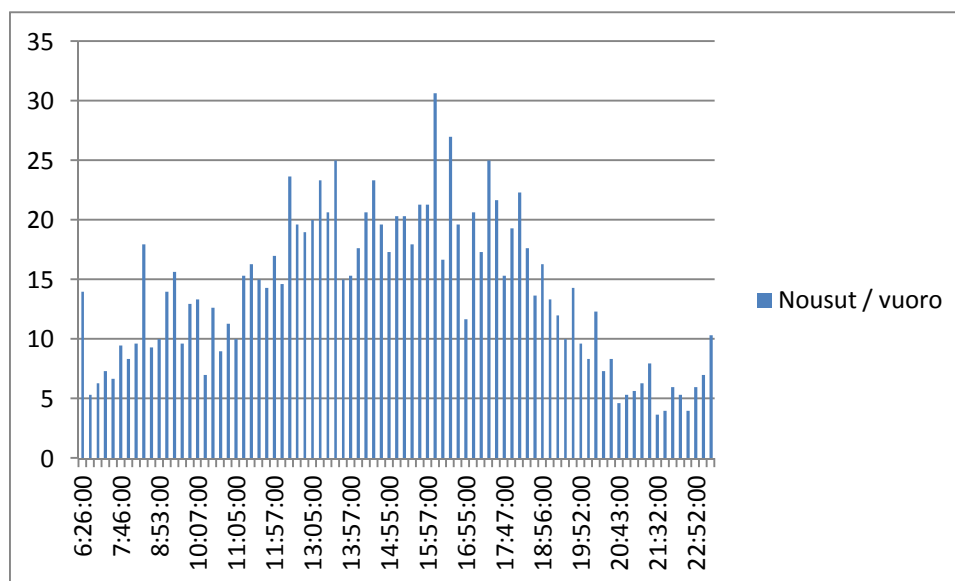
Arkisin linjalla ajetaan 138 lähtöä, joista pikkubussilla korvattavissa on yhteensä 29, joista 27 voidaan korvata käyttämällä kolmea pikkubussia. Koska linjan korvattavat lähdöt sijoittuvat iltaan, voidaan katsoa, että palvelulinjoilla käytössä ollutta kalustoa on vapaana käytettäväksi korvaamaan kaksiakselisia autoja. Kustannussäästö päivää kohden muodostuu siis linjakilometrien kustannusten

erotuksesta, joka tässä tapauksessa on 136,44€ (Taulukko 31). Kustannussäästöä arvioitaessa on huomioitava, että se ei sisällä liikennöitsijöille koituvia ylimääräisiä kustannuksia auton vaihtumisesta kesken liikennöintiajan. Säästö on kuitenkin huomattava verrattuna linjatunnin ja linjakilometrin hintaan.

Taulukko 31: Kustannussäästöt korvattaessa 2-akselinen linja-auto pikkubussilla Helsingin sisäisellä linjalla 57

	2-akselinen linja-auto	Pikkubussi	Kustannussäästö arkipäivää kohden
Linjakilometri	240,58	104,14	136,44
			136,44

Lauantaisin linjalla on 83 2-akselisella linja-autolla ajettua vuoroa, joista 49 on korvattavissa pienkalustolla. Pienkalustolla korvattavat vuorot sijoittuvat aamuun ja iltaan yhtenäisinä jaksoina (Kuva 22).



Kuva 22: Linja 57 lauantain vuorokohtaiset nousijamäärät

Lauantain liikenteen hoitamiseen tarvitaan vuorovälin ollessa tiheimmillään kolme autoa. Pienkalustolla korvattavissa olevista vuoroista 42 voidaan korvata käyttämällä kahta pikkubussia ja kaikki 49 vuoroa käyttämällä kolmea pikkubussia. Kolmannen pikkubussin käytöllä saatava hyöty jää autopäivän hintaa reilusti pienemmäksi.

Taulukko 32: Linjan 57 lauantailiikenteen kustannuslaskelma

	Kolme 2-akselista linja-autoa	Kolme 2-akselista ja kaksi pikkubussia	Kustannussäästö
Autopäivä	435,84	586,68	-150,84
Linjakilometri	739,61	491,97	247,65
			98,81

Lauantain liikenteessä korvattavien vuorojen määrä on niin korkea, että liikennöintikustannuksissa saavutettu säästö riittää kattamaan ylimääräiset autopäiväkustannukset kahdelta pikkubussilta (Taulukko 32).

Koko viikon aikana linjalla 57 saavutettavat liikennöintisäästöt olisivat näillä menetelmillä laskettuna 781,01 euroa (Taulukko 33).

Taulukko 33: Linjan 57 koko viikon kustannuslaskelma

Arkipäivät	Lauantai	Koko viikko
682,20€	98,81	781,01

Pienkalustolla korvattavien vuorojen pienen osuuden vuoksi energiankulutuksen ja päästöjen suhteellinen vähenemä jää pieneksi. Energiankulutuksessa saavutetaan 14,1 % ja päästöissä päästölajista riippuen 0–22,5 % vähenemä (Taulukko 34).

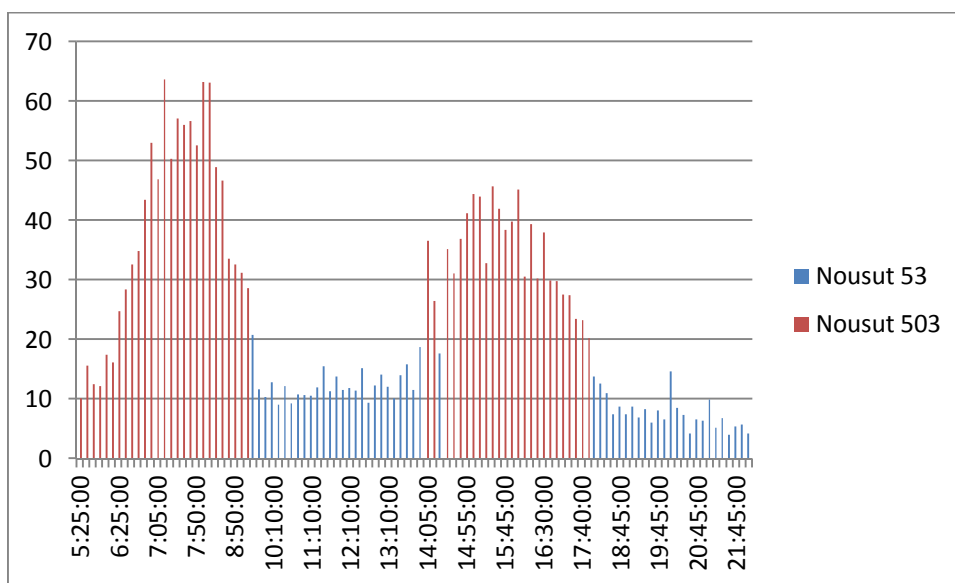
Taulukko 34: Linjan 57 viikon liikenteen energiankulutus- ja päästövertailu

		Linjakilo- metrejä	Energian- kulutus MJ	CO kg	HC g	NOx kg	PM g	CO2 kg
Kaikki vuorot 2-akselisilla	2-akselisella ajettavat vuorot	10280	158916	9,25	206	62	730	1157 6
Osa vuoroista pikkubusseilla	2-akselisella ajettavat vuorot	7834	121089	7,05	157	47,2	556	8820
	Pikkubussilla ajettavat vuorot	2447	15361	0,12	49	6,7	25	1136
	Yhteensä	10281	136449	7,17	206	53,9	581	9956
	Vähennelmä %		14,1	22,5	0	13,0	20,5	14

7.2. Kaksiakselisten linja-autojen korvaaminen modulaaribusseilla

Linjojen 53 ja 503 kaksiakselisten korvaaminen pienillä modulaaribusseilla

Linjan 503 nousijamäärät pysyvät aamuruuhkan aikana niin matalina, että linjalle voi harkita kaksiakselisten linja-autojen korvaamista pienillä modulaaribusseilla (Kuva 23). Linjan 53 kaikki arkipäivien vuorot ja osa linjan 503 varhaisaamun vuoroista on ajettavissa pelkällä pikkubussilla. Linja 53 liikennöi myös lauantaisin, jolloin sillä on 62 lähtöä ja niiden liikennöintiin käytetään kahta linja-autoa. Linjojen liikennöintiin käytetään tällä hetkellä kahdeksaa kaksiakselista linja-autoa. Linjalla 53, pituus 7,0 km, ajetaan yhteensä 53 vuoroa ja linjalla 503, pituus 22,6 km, ajetaan 52 vuoroa. Linjakilometrejä linjoilla ajetaan yhteensä 1546,2 km päivässä.



Kuva 23: Linjojen 503 ja 53 vuorokohtaiset nousijamäärät arkivuorokautena

Kustannuslaskelman perusteella linjojen 503 ja 53 kaksiakselisten linja-autojen korvaaminen pienkalustolla on kannattavaa. Kustannussäästö arkipäivää kohden on yhteensä 292,64 € (Taulukko 35). Lauantain liikenteen osalta kustannukset

muodostuvat samalla tavalla kuin aiemmin käsitellyssä esimerkissä (Taulukko 28). Koko viikon kustannussäästöiksi kertyy 1767,84 euroa (Taulukko 36).

Taulukko 35: Kustannussäästöt korvattaessa linjojen 53 ja 503 kalusto pienillä modulaaribusseilla

	2-akselinen linja-auto	Pieni modulaaribussi / pikkubussi	Kustannussäästö
Autopäivä	1162,24	1332,40	-170,16
Linjakilometri	1035,95	573,15	462,80
			292,64

Taulukko 36: Koko viikon kustannussäästöt

Arkipäivät	Lauantai	Viikon kustannussäästö
1463,20€	304,64€	1767,84€

Linjojen 53 ja 503 kaksiakselisten linja-autojen korvaaminen pienillä modulaaribusseilla tuottaa merkittävät säästöt energian kulutuksessa ja päästöissä. Energian kulutus laskee alle puoleen alkuperäisestä tasosta, CO-päästöt laskevat 92,3 % ja partikkelimassa 76,9 %. Hiilivetypäästöt sen sijaan kasvavat 31,8 % (Taulukko 37).

Taulukko 37: Linjojen 53 ja 503 energiankulutus- ja päästövertailu

		Linja-kilometrit	Energian-kulutus MJ	CO g	HC g	NOx kg	PM g	CO2 kg
Kaikki vuorot 2-akselisilla	2-akseliset linja-autot	8165	126210	7349	163,3	49,2	579,7	9194
Pienten modulaaribussien käyttö	Ilman perävaunua	2967	18624	148	59,3	8,1	29,7	1377
	Perävaunun kanssa	5198	42171	416	155,9	22,2	104,0	3784
	Yhteensä	8165	60795	564	215,2	30,3	133,7	5161
	Vähennelmä %		51,8	92,3	-31,8	38,4	76,9	43,9

Jokeri-linjan kaluston korvaaminen täysikokoisilla modulaaribusseilla tai kaksoisnivelbusseilla

Jokeri-linja on välillä Itäkeskus–Westendinasema liikennöivä korkean palvelu- ja laatutason poikittaislinja. Linjan liikennöintiä ulottuu varhaisaamusta myöhäisiltaan ja sillä on liikennettä myös viikonloppuisin. Reitin kokonaispituus on 29,3 km. Esimerkkilaskelmat perustuvat talvikauden 2010–2011 aikatauluihin. Arkisin linjalla ajettiin tuolloin 294, lauantaisin 181 ja sunnuntaisin 129 vuoroa. Aamuruuhkassa vuoroväli on tiheimmillään kolme minuuttia, keskipäivän liikenteessä 10 minuuttia ja iltaruuhkan jälkeen vuoroväli harvenee iltaa kohden. Ruuhka-ajan vuoroväli on korkean palvelutason tuottamisen kannalta tarpeettoman tiheä. Aamuruuhkan lyhyet vuorovälit aiheuttavat eri vuorojen autojen kerääntymistä useamman auton letkoiksi, jolloin letkan ensimmäinen auto on myöhässä aikataulusta ja sen perässä ajavat edellä aikataulua. Jokeri-linjalla suurempi kalustokoko ei siis ainoastaan tuottaisi kustannussäästöjä vaan myös sujuvoittaisi linjan liikennöintiä. Nykyisin linjaa liikennöidään telibusseilla, joita on liikenteessä aamuruuhkan aikana enimmillään 32 kpl. Laskelmassa ei vertailla operoinnin kustannuksia nykyiseen liikenteeseen, koska Jokeri-linjalla käytetään telibusseja, joiden kustannukset ovat keskimääräisiä kustannusarvoja korkeammat.

Esimerkkilaskelmassa verrataan jokerilinjan kustannuksia operoitaessa modulaaribusseilla ja kaksoisnivelbusseilla. Oletuksena pidetään sitä, että ruuhka-aikana voidaan molemmilla kalustotyypeillä poistaa joka toinen lähtö. Tarvittava autojen määrä on siis molemmilla autotyypeillä sama. Koska joka toinen ruuhka-ajan vuoro voidaan jättää ajamatta, lasketaan ajoneuvoja tarvittavan 16 kpl. Modulaaribussin arvioidaan voivan liikennöidä ilman perävaunua varhaisaamun ja myöhäisillan liikenteessä silloin kun nykyisen liikenteen vuoroväli on yli 15 minuuttia tai lähdön nousujen määrä on alle 60. Näillä periaatteilla tarkasteltuna ajettavia vuoroja jää yhteensä 216, joista modulaaribusseja käytettäessä 35 voidaan ajaa ilman perävaunua.

Arkipäivän kustannuslaskelma osoittaa modulaaribussin olevan tässä tapauksessa kalliimpi liikenneväline. Modulaaribussin kilometrikustannukset muodostuvat kapasiteetin muunneltavuuden ansiosta pienemmiksi kuin kaksoisnivelebussilla, mutta modulaaribussien korkeampi autopäivähinta pitää ajoneuvotyyppin kustannukset korkeampina (Taulukko 38).

Taulukko 38: Modulaari- ja kaksoisnivelebussin arkipäivän kustannusvertailu Jokeri-linjalla

	Kaksoisnivelebussi	Modulaaribussi
Autopäivä	3713,28	4712,64
Linjakilometri	5506,06	5716,72
Yhteensä	9219,34	10429,36

Lauantaisin linjalla tarvitaan 13 linja-autoa. Lauantaisin vuoroväli on tiheimmillään kymmenen minuuttia, jota ei ole tarkoituksenmukaista kaksinkertaistaa suuremman kaluston käytön avulla. Lauantaisin suuremmalla kalustolla joudutaan siis ajamaan yhtä paljon lähtöjä kuin nykyiselläänkin riittävän korkean palvelutason tuottamiseksi. Lauantain lähdöistä 60 on sellaisia, joilla modulaaribusseja käytettäessä voitaisiin ajaa ilman perävaunua. Vuorojen lähtöajat ovat pääsääntöisesti ennen aamuyhtätoista ja iltayhdeksän jälkeen.

Lauantain liikenteessä modulaaribussilla ilman perävaunua ajettavien vuorojen osuus on suurempi ja sitä myötä kustannusero modulaaribussin ja kaksoisnivelebussin välillä on kapeampi kuin arkipäivinä (Taulukko 39).

Taulukko 39: Modulaari- ja kaksoisnivelebussin lauantai liikenteen kustannusvertailu

	Kaksoisnivelebussi	Modulaaribussi
Autopäivä	2784,96	3534,48
Linjakilometri	4613,87	4680,97
Yhteensä	7398,83	8215,45

Sunnuntaisin linjalle tarvitaan kahdeksan ajoneuvoa. Sunnuntaisin vuoroväli on läpi liikennöintiajan niin harva, että sitä ei ole mielekästä harventaa suuremman kapasiteetin perusteella. Sunnuntaisin liikenteen kysyntä on lauantaitakin alhaisempaa ja linjan lähdöistä 62 on ajettavissa pelkällä modulaaribussin vetoautolla.

Sunnuntain liikenteessä modulaaribussin ilman perävaunua ajettavien vuorojen osuus on lähes kolmasosa, mutta modulaaribussi säilyy silti kaksoisnivelbussia kalliimpana liikennevälineenä (Taulukko 40).

Taulukko 40: Modulaari- ja kaksoisnivelbussin sunnuntai liikenteen kustannusvertailu Jokeri-linjalla

	Kaksoisnivelbussi	Modulaaribussi
Autopäivä	1856,64	2356,32
Linjakilometri	3288,34	2992,70
Yhteensä	5144,98	5349,02

Laskelmat osoittavat, että nykyisillä aikatauluilla ja käytetyillä laskentaperusteilla kaksoisnivelbussit ovat Jokeri-linjalle modulaaribussia edullisempi ratkaisu (Taulukko 41). Modulaaribusseilla saavutetaan kuitenkin kaikissa tapauksissa pienemmät liikennöintikustannukset. Edullisimmat kokonaiskustannukset voitaisiinkin saavuttaa käyttämällä sekä modulaaribusseja, että kaksoisnivelbusseja. Eri kalustotyyppien käyttö ja määrät tulisi valita siten, että modulaaribussien määrä mitoitettaisiin hiljaisten vuorojen määrän mukaan.

Taulukko 41: Koko viikon liikennöintikustannukset Jokeri-linjalla

	Kaksoisnivelbussi	Modulaaribussi
Autopäivä	23208	29454
Linjakilometri	35432,49	36257,29
Yhteensä	58640,49	65711,29

8. Johtopäätökset

Tässä diplomityössä on pyritty selvittämään kalustovalinnan vaikutusta linja-autoliikenteen kustannuksiin, energiankulutukseen ja päästöihin, sekä mahdollisuuksia saavuttaa säästöjä liikenteen kustannuksissa, energiankulutuksessa ja päästöissä valitsemalla kalusto eri tavoin kuin nykyään. Kustannusten arvioinnissa on käytetty apuna linja-autoalan sopimusliikenteen kustannusindeksiä ja toteutuneita liikennöintikustannuksia, joiden perusteella on arvioitu yksikkökustannuksia myös sellaisille kalustotyypeille joita ei suomessa tällä hetkellä ole käytössä. Kustannuslaskelmien kautta voidaan työn varsinaisten tavoitteiden lisäksi arvioida kaluston valintaa koskevassa keskustelussa eri osapuolten käyttämien, toistensa kanssa ristiriidassa olevien argumenttien painoarvoa.

Yksikkökustannuslaskelmien lopputuloksena arvioidaan HSL:n käyttämän kustannusjaottelun mukaiset yksikkökustannusarvot pikkubusseille, sekä pienille ja suurille modulaaribusseille. Yksikkökustannuslaskelmat osoittavat eri ajoneuvotyypeille saatavan hyvin erisuuruisia linjakilometri- ja autopäiväkustannuksia.

Erillisen pienkaluston hankinta hiljaisen ajan liikennettä varten muodostuu huomattavasti kalliimmaksi kuin useimmissa tapauksissa on mahdollista pienempien liikennöintikustannusten kautta säästää. Erillisen pienkaluston hankinta edellyttäisi nykytilanteeseen nähtynä laajempaa liikennöintiaikaa, jolloin pienkalustolla ajettavien linjakilometrien määrä nousisi korkeammaksi ja siten riittäisi kattamaan ylimääräisen autopäivähinnan. Toisaalta pienkaluston hankinta voisi pienempien liikennöintikustannustensa ansiosta mahdollistaa useiden linjojen liikennöintiaikaa, jolloin saavutettaisiin huomattavia parannuksia joukkoliikenteen palvelutasossa.

Pienten modulaaribussien käyttö on mahdollista sellaisilla linjoilla, joilla ainoastaan ruuhkahuipun aikana matkustajakysyntä edellyttää kaksiakselisen linja-auton kapasiteettia ja joilla kuitenkin halutaan tarjota korkeampaa palvelutasoa kuin matkakysynnän kannalta olisi järkevää tuottaa kaksiakselisilla linja-autoilla. Nämä kriteerit täyttävillä linjoilla kustannussäästöt ovat merkittäviä.

Pienkalustoa on jo nykyisellään olemassa, jolloin pienkaluston käyttö kannattaisi aloittaa käyttämällä palvelulinjojen autoja hiljaisina aikoina ja viikonloppuisin sellaisilla linjoilla, joilla se liikenteen kysynnän puolesta olisi mahdollista.

Täysikokoisten modulaaribussien hankintahinta on kapasiteettiin nähtynä huomattavan korkea ja etenkin verrattuna kaksoisnivelbussiin liikennöintikustannukset ovat varsin korkeita. Modulaaribussit ovat kaksoisnivelbusseja edullisempia silloin kun ruuhkahuipun osuus vuorokauden liikennöintiajasta on varsin pieni ja ruuhka-aikana tarvitaan suurempaa kapasiteettia ruuhkan ulkopuoliseen liikenteeseen verrattuna. Modulaaribussien käyttö ei tässä työssä käytettyjen laskumenetelmien valossa ole perusteltua. Linjoilla, joilla olisi järkevää käyttää suuremman kapasiteetin tarjoavia autoja, on taloudellisempaa siirtyä käyttämään nivel- tai kaksoisnivelbusseja. Modulaaribussien käyttöä pohdittaessa on lisäksi otettava huomioon, että tämän työn laskentamenetelmissä on arvioitu ainoastaan liikennöintikustannusten kehitystä, eikä esimerkiksi linja-autotermiinalien yhteyteen tarvittavien ylimääräisten pysäköintialueiden rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia ole huomioitu.

Modulaaribussien käyttöä on esitetty ratkaisuksi kuormitusprofiililtaan epätasaisten linjojen kapasiteetin muuntamiseen kesken linjan. Perävaunun irrottamisella kesken linjan saavutettavat liikennöintisäästöt ovat kuitenkin niin pieniä, että tämän tyyppinen käyttö ei ole kannattavaa. Kustannuslaskelmissa ei ole myöskään huomioitu pysäköintitilan rakentamisen kustannuksia, eikä matkustajilta kytkentään kuluvan ajan arvoa.

Nykyisen pienkaluston käyttöä voitaisiin parhaiten edistää antamalla liikennöitsijöille mahdollisuus halutessaan ajaa hiljaisen ajan lähtöjä pienkalustolla. Kaikilla liikennöitsijöillä ei ole pienkalustoa ollenkaan ja osa palvelulinjojen liikennöitsijöistä taas ei liikennöi täysikokoisilla busseilla. Nykyisten pikkubussien käyttö voisi siis monissa tapauksissa tarkoittaa palvelulinjojen liikennöitsijöiden alihankintana tuottamaa liikennettä. Alihankintana tuotetun hiljaisen ajan

liikenteen kannattavuus linjan varsinaiselle liikennöitsijälle taas riippuu siitä miten työvuoro- ja autokierrot saataisiin suunniteltua uudessa tilanteessa.

Linja-autoliikenteen kustannusindeksi osoittaa, että suurimmat kustannussäästöt ovat saavutettavissa kuljettajien palkkakulujen kautta. Kuljettajien palkkakulut muodostavat yhteensä 54 % sopimusliikenteen kokonaiskustannuksista. Kalustonvalinnan kautta palkkakustannuksiin pääsee käsiksi suurentamalla kaluston kokoa ja vähentämällä vuorotarjontaa.

Polttoainekulujen osuuden ollessa vain 14 % kokonaiskustannuksista, ei pienemmän polttoaineenkulutuksen kautta ole saavutettavissa merkittäviä säästöjä. Linjakilometrin hinnastakin polttoaineen osuus on vain puolet. Tästä syystä ei ole oletettavissa, että liikennöitsijät hankkisivat hybridibusseja tai muilla polttoainetta säästävillä tekniikoilla varustettuja linja-autoja niin kauan kuin ne ovat merkittävästi kalliimpia hankkia ja ylläpitää verrattuna tavanomaisiin linja-autoihin.

Liikennöitsijät ovat usein esittäneet liikenteen tilaajan tiukkojen kalustokriteerien aiheuttaman kohtuuttoman suuria kustannuksia kun pääkaupunkiseudulle hankittavat bussit eroavat olennaisesti muualla Euroopassa käytetyistä busseista, jonka seurauksena käytettävissä olevien autojen hinnat ovat kalliimpia ja jälleenmyyntihinnat alhaisempia. Pääomanpoistojen osuuden ollessa vain 8 % sopimusliikenteen kokonaiskustannuksista, on ilmeistä että liikenteen tilaaja ei saavuttaisi merkittäviä säästöjä sallimalla hankintahinnaltaan edullisempien linja-autojen käyttöä. Jälleenmyyntiarvon merkitys riippuu pitkälti siitä missä ajassa linja-auton hankintahinta on tarkoitus poistaa, sekä yrityksen käyttämästä pääoman tuottotavoitteesta. Koska ajoneuvon jäännösarvo kohdistuu vasta siihen ajankohtaan jolloin se on tarkoitus poistaa liikenteestä, on jälleenmyyntiarvon merkitys investointia tehdessä kohtalaisen pieni. Jälleenmyyntiarvon suuruuteen taas vaikuttaa se kuinka helposti auto on siirrettävissä johonkin muuhun liikenteeseen.

Yleiskustannukset muodostavat yhteensä 11 % nykyisenkaltaisen sopimusliikenteen kustannuksista. Autopäivähintaa laskettaessa yleiskustannuksilla on jopa suurempi

merkitys kuin auton hankintahinnalla. Yleiskustannusten huomioiminen liikennöintikustannusten laskennassa on tämän työn kustannuslaskelmien epävarmin osio. Yleiskustannuksiin sisältyvien kustannusten riippuvaisuus kalustotyyppistä ja kaluston määrästä ei ole suoraan pääteltävissä. Selvää kuitenkin on, että ylimääräisen kaluston hankkiminen linjoille edellyttää varikolta lisää tiloja, nostaa työnjohdon kustannuksia ja kasvattaa vakuutusmaksuja.

Työssä selvitettyt tavat parantaa joukkoliikenteen kustannus- ja energiatehokkuutta hankkimalla erillistä kalustoa hiljaisen ajan liikennettä varten ei tämän päivän kustannusrakenteella ole kannattavaa. Kustannusrakenteen ja kustannustekijöiden kehitys tulevaisuudessa sanelee sen muuttuuko asetelma toisenlaiseksi. Polttoaineiden hinnannousu ja päästöjen arvottaminen ovat tekijöitä, jotka saattavat muuttaa kahden päällekkäisen kaluston hankinnan kannattavaksi. Polttoaineiden hinnan osuus kokonaiskustannuksista on kuitenkin niin pieni, ettei niiden voimakaskaan nousu muuttaisi kustannusrakennetta merkittävästi. Toisaalta linja-autojen päästövaatimukset tulevat jatkossakin kiristymään ja sitä myötä niiden myyntihintaan kohdistuu nousupaineita, jolloin ylimääräisen kaluston hankkiminen olisi kannattamattomampaa.

Työn herättämät jatkotutkimustarpeet jakautuvat työn menetelmän ja siinä tehtyjen arvioiden parantamiseen, sekä kaluston valintaa ja liikennöinnin suunnittelua koskevan tarkastelutavan laajentamiseen. Työssä käytetyssä yksikkökustannusten laskentamenetelmässä osa lähtötiedoista sisältää vielä epävarmuuksia. Erityisesti tarkempaa arviointia olisi syytä suorittaa pienten modulaaribussien kustannusten osalta.

Tässä työssä tehdyt laskelmat perustuvat nykyiselle kalustolle laadituille aikatauluille, jolloin yksi keino syventää tutkimusta olisi perehtyä tarkemmin siihen millaisia muutoksia liikennöintiin voitaisiin tehdä jos kalusto olisi erilaista. Pienempää kalustoa käytettäessä kynnys lisätä vuoroja laskisi ja näin ollen linjojen liikennöintiäikaa voisi olla mahdollista laajentaa.

Nykyisen pienkaluston käyttö iltaisin ja viikonloppuisin tekisi palvelulinjojen liikennöinnin liikennöitsijöille mielenkiintoisemmaksi. Tehostunut kalustonkäyttö saattaisi alentaa myös palvelulinjojen liikennöintikustannuksia ja sitä kautta madaltaa palveluliikenteen lisäämisen kynnystä.

Kaluston optimoinnilla voidaan saavuttaa vain marginaalinen parannus joukkoliikenteen heikkoon energiatehokkuuteen ja alhaiseen täyttöasteeseen. Ruuhka-aikoina saavutetaan korkea täyttöaste ruuhkasuuntaan kulkevilla linjoilla, mutta silloinkin paluusuunnan linjat kulkevat alhaisilla kuormilla ja ruuhka-ajan täyttöaste jää matalaksi. Tehokkaasti toimivan joukkoliikennejärjestelmän edellytyksenä on kaupunkirakenne, jossa liikennevirrat eivät ole yksisuuntaisia ja tiheys on riittävän suuri korkean matkakysynnän tuottamiseksi. Linja-autoliikenteen energiatehokkuuden kehittäminen ajoneuvojen ominaisuuksien ja kalustonvalinnan kautta tuottaa huomattavasti pienemmän potentiaalin kuin joukkoliikennejärjestelmän kehittäminen siten, että linja-autojen täyttöaste olisi nykyistä korkeampi. Linja-autoliikenteen täyttöasteen parantamiseen tähtäävät toimenpiteet parantavat myös liikenteen taloudellisuutta ja pienentävät subvention tarvetta kun lipputulot vuoroa kohden ovat suuremmat.

Lähdeluettelo

Anttila T. (1996). Paikallisliikenteen sääntelyn purkaminen ja kilpailuttaminen. Liikennetekniikan lisensiaatintyö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.

Ceder A. (2008). Advanced Modeling for Transit Operations and Service Planning. Emerald.

Dieselnet (2011). Dieselnet interne-sivut. <http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>. Viitattu 9.5.2011.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) 1370/2007

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/33/EY puhtaiden ajoneuvojen ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämisestä.

Haapamäki T. (2010). Liikennejärjestelmän EMME-kuvauksen kehittäminen joukkoliikenteen suunnittelun tueksi. Liikennetekniikan diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo. 97s.

Helsingin kaupungin liikennelaitos. (2009). Joukkoliikenteen luotettavuuden kehittämisohjelma B-osa. Helsingin kaupungin liikennelaitoksen julkaisuja D: 14/2009. Helsinki. 136s.

Helsingin seudun liikenne. (2011). Johdinautoliikenteen hankeselvitys. Helsingin seudun liikenteen julkaisuja 13/2011. Helsinki. 94+47s.

Helsingin seudun liikenne. (2011b). Helsingin seudun liikenteen internet sivut. www.hsl.fi/FI/mikaonhsl/Sivut/default.aspx. Viitattu 10.8.2011.

Helsingin seudun liikenne. (2011c). Helsingin seudun liikenteen vuosikertomus. Helsinki. 33s.

Helsingin seudun liikenne. (2011d). Helsingin seudun liikenteen arkiliikenteen hiilidioksidilaskuri internet-sivut. <http://www.hsljalki.fi/fi/menu/info>. Viitattu 21.11.2011

Helsingin seudun liikenne. (2011e). Tarjouspyyntö bussilinjojen liikennöinnistä. Tarjouskilpailu 22/2011. Dnro 230/07/71/711/2011.

Helsingin seudun liikenne. (2010). Joukkoliikenteen yksikkökustannukset 2009. Helsingin seudun liikenteen julkaisuja 26/2010. Helsinki. 32s.

Hess. (2011). Hess ag:n internet-sivut. <http://www.hess-ag.ch/en/busse/linienbusse/buszuege.php>. Viitattu 14.7.2011.

Iles R. (2005). Public Transport in Developing Countries. Elsevier. Oxford. 466s.

Joukkoliikennelaki 13.11.2009/869

Kuukankorpi A. (2011). Arttu Kuukankorven internet-sivut. <http://www.kuukankorpi.com/paikallisliikenne/>. Viitattu 20.7.2011.

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. (2011). Liikenteen turvallisuusviraston internet-sivut. http://www.ake.fi/AKE/Ajokortit_ja_tutkinnot/Ajokortit/Ajokorttiluokat.htm. Viitattu 10.9.2011.

Linja-autoliitto. (2011). Linja-autoliiton internet-sivut. http://linja-autoliitto.fi/fi/tietoa_bussialasta/liikennetyypit/. Viitattu 15.8.2011.

Low Emission Zone in Europe Network. (2011). Low Emission Zone in Europe- internet sivut. <http://www.lowemissionzones.eu/countries-mainmenu-147>. Viitattu 21.11.2011

Luttinen T. (2005). Liikenne ja väylät I. Suomen rakennusinsinöörien liitto. Ril-165-1.

Nylund O, Mäkelä K. (2007). Esiselvitys ympäristövyöhykkeen soveltuvuudesta Helsinkiin. TransEnergy Consulting 3/2007. 93s.

Ojala J., Pursula M. (1994). Taajamien joukkoliikenteen suunnittelu ja hoito. Teknillinen korkeakoulu. Liikennetekniikka, opetusmoniste 13, Suomen paikallisliikenneliitto ry, Otaniemi

Powell t. (2001). The Transport System – Markets, Modes and Policies. PTRC Education & Research Services. 299s.

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV. (2009). Joukkoliikenteen suunnitteluohje. YTV:n julkaisuja 27/2009. Helsinki. 16s.

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV. (2009b). Seudullisen joukkoliikenteen toimintaedellytysten kehittämissuunnitelma 2009. YTV:n julkaisuja 3/2009. Helsinki. 169s.

Rönnerberg T. 2011. Tom Rönnerbergin esitelmä paikallisliikennepäivillä Helsingissä 22.9.2011. http://www.pllry.fi/plpaivat/liitteet/PLP_2011_TR.pdf

Sektoritutkimuksen neuvottelukunta. (2011). Joukkoliikenteen energiatehokkuuden seuranta, raportointi ja kehittäminen, Metsäpuro P, Liimatainen H, Rauhamäki H, Mäntynen J. Helsinki. 70s.

Stadtbuss. (2011). Stadtbuss.de internet-julkaisun sivut. http://www.stadtbuss2.de/magazin/m_fahrzeuge_anhaenger_gl-ho97.jpg. Viitattu 12.11.2011

Tervonen. (2010). Liikenteen päästökustannusten päivittäminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 46/2010. Helsinki. 48s.

Tilastokeskus. (2011). Linja-autoliikenteen kustannusindeksi 2010=100. Helsinki.

Tilastokeskus. (2011b). Linja-autoliikenteen kustannusindeksin 2010=100 menetelmäseloste. Helsinki. 15s.

Tinnilä M. (2011). Markku Tinnilän esitys paikallisliikennepäivillä Helsingissä 23.9.2011. http://www.pllry.fi/plpaivat/liitteet/PLP_2011_MT_ja_JK.pdf

Transportation Research Board. (1980). Urban Transportation, Perspectives and Prospects. Eno Foundation for Transportation. Connecticut. s.299

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2011). Työ- ja elinkeinoministeriön internet-sivut. <http://www.tem.fi/index.phtml?s=1885>. Viitattu 22.6.2011.

Valtion rautatiet VR. (2011). Valtion rautateiden internet-sivut. http://www.vr-konserni.fi/fi/index/ymparisto/ymparistolupaukset_19_29.html. Viitattu 29.6.2011.

Visa T. (2010). Tilaaja-tuottaja- yhteistyö kilpailutetussa bussiliikenteessä pääkaupunkiseudulla. Liikennetekniikan diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo. 80s.

Volvo. (2011). Linja-autovalmistaja Volvon kuvapankki. http://icp.llr.se/CumulusE_Z/VBC_ImageGallery/. Viitattu 1.12.2011

Volvo. (2011b). Volvo B7RLE linja-autonalustan data-sheet.

Vuchic. (2005). Urban Transit – Operations, Planning and Economics. John Wiley and sons. Hoboken, New Jersey. 644s.

VTT. (2011). Linja-autojen päästötietokanta

Asiantuntijahaastatteluihin osallistuneet:

Anttila T. (2011). Tero Anttila, varatoimitusjohtaja, Wsp, haastattelu 18.10.2011

Laine P. (2011). Petri Laine, tutkija, VTT, haastattelu 24.10.2011

Mäenpää J. (2011). Juha Mäenpää, Markkinointipäällikkö, Veho, Haastattelu 4.10.2011

Nykänen J. (2011). Juha Nykänen, Liikennepäällikkö, Veolia transport, haastattelu 23.05.2011.

Ojamo S. (2011). Sami Ojamo, Tekninen johtaja, Veolia transport, haastattelu 17.6.2011

Saavola M. 2011. Mikko Saavola, Projektipäällikkö, Linja-autoliitto, haastattelu 27.5.2011

Kilpailutettavan liikenteen linja-autokaluston rakenne- ja varustetasovaatimukset sekä pisteytys

Liikenteeseen uutena hankittavien linja-autojen on oltava matalalattia-autoja, joko etuosaltaan matalia (low entry) tai täysmatalia.

1. Kaluston ulkonäkö

Liikennöitsijän on maalattava tai ns. yliteipattava linja-autot tilaajavärytykseen, liitteessä 14 kuvatun maalausohjeen mukaisesti.

2. Kaluston tunnistet

Liikennöitsijän nimen on oltava linja-auton molemmilla sivuilla vähintään 80 mm suuruisilla kirjasimilla tilaajavärytyksessä liikennöitsijän nimelle varatulla paikalla. Linja-auton järjestysnumero on oltava vähintään 100 mm suuruisin numeroin molemmilla sivuilla ja takana tilaajavärytyksessä järjestysnumerolle varatulla paikalla. Lisäksi järjestysnumeron on oltava sisällä noin 30 mm suuruisin numeroin.

3. Linja-autoon nouseminen

Nousukorkeus ei saa ylittää 350 mm:ä millään ovella. Askelkorkeus ei saa ylittää 250 mm:ä takaovellakaan. Linja-auto varustetaan kokosivun nousemalla.

4. Portaat

Linja-autossa ei saa olla porrasta etu- ja keskioven välillä. Keskisillalta takaosaan nousevien portaiden askelkorkeus ei saa ylittää 250 mm:ä.

5. Invasilta

Keskiovellalla on oltava invasilta. Jos silta on kuljettajan paikalta ohjattava, on siinä oltava turvalaitteet.

6. Pysäkkijarru

Linja-auto on varustettava pysäkkijarrulla, joka estää autolla ajamisen ovien ollessa auki (myös etuovi).

7. Ovien turvalaitteet

Poistumisovet on varustettava turvalaitteilla, jotka estävät matkustajien jäämisen sulkeutuvien ovien väliin. Ovien avautumisen tulee tapahtua normiolosuhteissa alle 5 sekunnissa pysähtymisestä, ja ovien sulkeutumiskäskyn jälkeen auton on päästävä liikkeelle alle 5 sekunnin kuluessa.

8. Ohjaamo

Kuljettajan työrauhan varmistamiseksi on kuljettajatilalla varustettava turvaohjaamolla siten, että kuljettajan on pystyttävä myymään lippuja, palvelemaan matkustajia ja keskustelemaan tarvittaessa heidän kanssaan. Turvaratkaisun tulee suojata kuljettajaa ja auton hallintalaitteita, mutta työtilaa ei voi kokonaan eristää matkustajatiloista. Turvaohjaamon toteutustapa on esitettävä tarjouksessa.

9. Lastenvaunu-/pyörätuolitila

Linja-autossa on oltava tila vähintään kolmelle lastenvaunulle.(vapaa pituus vähintään 1950 mm) Tila on varustettava pyörätuolille sekä vähintään kolmelle klaffi-istuinpaikalle (minimiväljyys 710 mm) Käytävän on oltava vapaa lastenvaunun tilan kohdalla niin, että kolmet 1200 mm pitkät lastenvaunut mahtuvat lastenvaunutilaan.

Keskisillan etupuolelle molemmin puolin käytävää oleviin pystytankoihin ja lastenvaunun tilan seinään sekä ulos keskioven etupuolelle on sijoitettava lastenvaunu-/pyörätuolipainikkeet. Paikat on merkittävä.

10. Vammaispaikat

Vammaisille on varattava keskioven etupuolelta 4 paikkaa (2+2), joissa podesterin (lattiakorokkeen) enimmäiskorkeus on 250 mm. Kuljettajan taakse ensimmäiseen penkkiriviin on sijoitettava opaskoiran kanssa kulkevan näkövammaisen paikka ja paikan viereisen istuimen on oltava ylöskäännettävä, jos polvitila on alle 450 mm. Paikat on merkittävä.

11. Istuimet

Istuinten on oltava selkä- ja istumaosaltaan pehmustetut sekä kangasverhoillut. Istuimen vapaa pituussuuntainen istumatila on oltava vähintään 730 mm 50 %:lla vaaditusta istumapaikkamäärästä, lopuissa istuinpaikoissa on vapaatilan oltava vähintään 710 mm, neljässä istuinpaikassa sallitaan alle 710 mm:n istuinväljyys. (Vastakkain istuttavien penkkien istumatilan väljyysmitta on kummallekin vastakkaiselle istuimelle puolet kokonaisväljyydestä)

Hybridibussit (kulutussäästö, min.-25%) sallitaan direktiivin mukaisilla istuinväljyyksillä.

Matkustajaistuimen etureunan korkeuden on oltava noin 450 mm, lukuun ottamatta mahdollista korotettua vammaisistuinta sekä lokasuojien kohdalla olevia istuimia.

12. Käytävä

Matkustamon käytävän leveys on oltava auton etu- ja keskioven välillä kapeimmalta kohdalta vähintään 550 mm, muualla käytävän leveys on vähintään 500 mm.

Kaikilla ovilla sisääntulo- tai poistumiskäytävän on oltava kapeimmalta kohdaltaan vähintään yhtä leveä kuin ovelle vaadittu vapaa kulkuaukko.

13. Painonapit

Tukitangoissa enintään 1550 mm:n korkeudella lattiatasosta on oltava pysähtymispainonapit. Poistumisovien vieressä on oltava lisäksi lapsia varten painonappi, joka on enintään 1000 mm:n korkeudella. Vammaispaikkojen läheisyyteen on sijoitettava painonapit niin, että jokaiselta vammaispaikalta pystyy antamaan pysähtymismerkin nousematta seisomaan. Pyörätuolipaikalta käytettävien painikkeiden korkeus lattiatasosta noin 850 mm. Painonappien värisävyssä on otettava huomioon heikkonäköiset. Painonapin käytön on annettava äänimerkki.

14. Tukitangot ja kahvat

Liikuntaesteisten liikkumisen helpottamiseksi vammaispaikkojen kohdalle seinään on asennettava kahva sekä vaaka- ja pystytankoja, ellei paikan edessä olevassa istuimessa ole tarkoitukseen sopivaa kahvaa tai muuta apuvälinettä. Linja-autoon on asennettava kahvoja ja tukitankoja niin, että niitä käyttäen pääsee liikkumaan sisääntulo-ovelta poistumisovelle. Mikäli vammaispaikat on sijoitettu niin, ettei niiden edessä ole seuraavan penkin selkänojaa, on paikkojen eteen sijoitettava tukitanko. Ovet on varustettava liikuntavammaisille soveltuvilla kahvoilla.

7.9.2011

15. Valo- ja ohjekilvet

Linja-auton etuosassa on oltava näkyvällä paikalla pysähtyy-valo, jossa lukee joko "Pysähtyy Stannar" tai "STOP". Valon on oltava erillinen kellosta. Nivelbussissa pysähtyy-valo on sijoitettava lisäksi nivelen jälkeisen osan etupäähän.

Tuulilasin ylänurkkaan sijoitetaan ulos näkyvä täynnä-valo, jossa lukee "Täynnä Fullsatt". Mikäli linja-auton sisällä on matkustajille tarkoitettuja pysyviä sanallisia ohjekilpiä tai vastaavia, on niiden oltava kaksikielisiä (suomi ja ruotsi).

16. Infoaineisto

Linja-auton etuosaan matkustajien kulkureitin varrelle kuljettajan olottuville on sijoitettava aikataulujen ja esitteiden jakelukori, johon mahtuu A5-kokoinen materiaali.

17. Mainos- ja infopinnat sisällä

Linja-auton ikkunoiden yläpuolella sisäkaton ja seinän taitekohdassa on oltava 250 mm:n korkuinen ja 1200 mm:n pituinen alue tariffi-, ohje- ja joukkoliikenteen mainostarroja varten. Tällä alueella ei saa olla pitkittäisiä listoja eikä muita epätasaisuuksia. Lisäksi joukkoliikennettä koskeville tiedotuksille on varattava kiinnitystilaa seisomasilloilla tai poistumisovien läheisyyteen niin, että tiedotukset eivät peitä ikkunoita.

18. Rahastus- ja muut ajoneuvolaitteet

Rahastuksessa käytettävät ja muut tilaajan edellyttämät laitteet (esim. informaatiojärjestelmä) on sijoitettava tilaajan ohjeiden mukaisesti. Linja-autoissa on oltava asennusvalmius tiedossa oleville laitteille.

19. Ilmanvaihto

Linja-auton matkustamon ilmanoton on oltava ikkunalinjan yläpuolella. Ilmanottokeuhassa on oltava suodatin. Linja-autoissa on oltava kattokanavapuhallus.

Uudet autot, joissa ei ole jäähdytysilmastointia, on varustettava ns. yläikkunalliseksi autoksi, jossa on neljä avattavaa sivuikkunaa (2 kpl /sivu).

20. Ikkunat

Matkustamon sivuikkunoiden on oltava kaksinkertaiset. Ikkunat on pidettävä esteettömästi läpinäkyvinä.

Matkustamon ikkunat on sijoitettava niin, että ikkuna ulottuu katselukorkeudelle (65 – 80 cm istuintyynyn yläpinnasta) ikkunan vieressä olevien istuimien kohdalla.

21. Sisävalaistus

Linja-auton sisävalaistuksen on oltava sellainen, että jokaisella istumapaikalla pystyy vaivatta lukemaan normaalia tekstiä (100 – 200 lux).

22. Kello

Matkustamossa on oltava matkustajille näkyvä ja minuutilleen oikeaa aikaa näyttävä kello. Kuljettajan on voitava säätää kellon aikaa ilman erikoisapuvälineitä.

23. Linjakilvet

Edessä, takana ja oikealla sivulla etu- ja keskioven välissä on oltava valaistu ja selvästi erottuva linjakilpi. Etulinjakilvessä linjanumeron korkeuden on oltava vähintään 280 mm ja numeroiden 0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ja 9 kunkin leveyden vähintään 150 mm. Etulinjakilven linjanumeroissa käytetyn viivanleveyden on oltava vähintään 45 mm. Taka- ja sivulinjakilvissä linjanumeron korkeuden on oltava vähintään 160 mm. Etu-, sivu- ja takalinjakilvissä linjatunnuksen osana olevien kirjainten on oltava 50 – 80% numeroiden koosta.

Etulinjakilvessä on oltava myös valaistu linjan päätepisteen kertova teksti suomeksi ja ruotsiksi. Päätepisteenä on näytettävä tilaajan matkustajainformaatioissa käyttämää nimeä linjan päätepisteestä, ellei tilaajan kanssa muuta sovita. Ympyrälinjoilla käytettävistä määränpääteksistä sovitaan erikseen. Teksti on näytettävä sekalajisena (ensimmäinen kirjain ja erisnimien ensimmäinen kirjain isoja kirjaimia, muut pieniä kirjaimia). Teksti on esitettävä kirjaimella, jossa isojen kirjainten korkeus on vähintään 85 mm.

Sisällä matkustamon etuosassa on oltava näkyvällä paikalla kilpi, jossa on kahdella rivillä molemmilla vähintään 16 merkkiä (kirjaimia tai numeroita). Kunkin merkin korkeuden on oltava vähintään 40 mm. Tilaajan informaatiojärjestelmän on pystyttävä ohjaamaan kilvessä näkyvää tietoa IBIS-protokollaa käyttäen joko RS485- tai Ethernet-yhteyden kautta. Mikäli tilaaja ei kytke kilpeä informaatiojärjestelmään, on siinä näytettävä linjatunnus ja päätepisteen kertova teksti suomeksi ja ruotsiksi.

Kaikkien linjakilpien on oltava ohjattavissa kuljettajan paikalta.

24. Pysäkkivalo

Poistumisovien kohdalla on oltava valo, joka valaisee myös poistumisoven ulkopuolisen alueen.

25. Paloturvallisuus

Linja-autossa on oltava toimiva automaattinen moottoritilan palonsammutusjärjestelmä, joka on säännöllisesti vuosittain huollettava, huollot on dokumentoitava. Moottori- ja lisälämmitintila on varustettava sammutusaukoin.